



Escola Politècnica Superior
d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TREBALL FINAL DE GRAU

TÍTOL: Sistema mecànic de posicionament dels miralls de transport de la línia del Sincrotró

AUTOR: Xavier Roura Garcia

TITULACIÓ: Grau en Enginyeria Mecànica

DIRECTOR: Enric Martín Fuentes

DEPARTAMENT: Ciències dels Materials i Enginyeria Metal·lúrgica

DATA: 23/10/2015



Escola Politècnica Superior
d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TÍTOL: Sistema mecànic de posicionament dels miralls de transport de la línia del Sincrotró

COGNOMS: Roura Garcia

NOM: Xavier

TITULACIÓ: Grau en Enginyeria Mecànica

PLA: Bolonya

DIRECTOR: Enric Martín Fuentes

DEPARTAMENT: Ciències dels Materials i Enginyeria Metal·lúrgica

QUALIFICACIÓ DEL TFG

TRIBUNAL

PRESIDENT

SECRETARI

VOCAL

M. Teresa Baile Puig

Oscar Martín Raya

Nativitat Salvado Cabre

DATA DE LECTURA: 29 d'octubre de 2015

Aquest Projecte té en compte aspectes mediambientals: ☐ Sí ☐ No

TREBALL FINAL DE GRAU

RESUM (màxim 50 línies)

Actualment la tècnica MIRAS (Microespectroscòpia Infraroja amb Radiació Sincrotró) és una de les més utilitzades en els àmbits de biologia i biomedicina, anàlisi forense i industrial, arqueometria i patrimoni cultural, en els materials polimèrics i ceràmics, geologia i astrofísica, entre d'altres. En el Sincrotró ALBA, ubicat a Cerdanyola del Vallès, es vol incorporar una nova línia d'aquestes característiques. Per tal de poder aprofitar els avantatges d'aquesta tècnica, es necessita un mecanisme amb la finalitat de moure angularment els miralls encarregats de transportar la llum infraroja de dins del túnel cap al exterior i així ser utilitzada per la microespectroscòpia, sota condicions de ultra alt buit.

En la primera part del projecte, abans de començar a plantejar qualsevol part, es tenen en consideració els antecedents procedents del Sincrotró SOLEIL de França. Ja que des de l'any 2006 utilitzen aquesta tècnica. També s'estudien els requeriments dels clients, que en aquest cas són els mateixos científics del Sincrotró ALBA i els proposats pe l'estudiant en pràctiques i l'enginyer responsable del projecte.

En la segona part, es planteja un esborrany del que seria el mecanisme a utilitzar amb l'objectiu de moure els miralls en els dos moviments angulars requerits. A continuació es crea el disseny conceptual ja plantejant tots els components per poder portar a terme no només el mecanisme, sinó tot el conjunt d'aquest per tal de ser assembletat en la nova línia. Per a aquest objectiu s'utilitzen eines assistides per ordinador, més concretament, el programa NX 7.5, un software cada vegada amb més projecció en el món de l'enginyeria i eina de treball del departament d'enginyeria del Sincrotró.

Un cop es té el disseny conceptual, es realitzen càlculs analítics per justificar components normalitzats i per poder realitzar una simulació d'elements finits, amb el software ANSYS, amb l'objectiu d'estudiar la viabilitat del projecte, mecànicament parlant.

En la última part, es fan els plànols adients per a la posterior fabricació, muntatge i demanda de pressupost. Ja per acabar, una estudi econòmic dels costos de producció equivalent a un conjunt mecànic de posicionament dels miralls de transport.

Paraules clau (màxim 10):

| | | | |
|---------|-------------|-----------|---------|
| MIRAS | Sincrotró | Mecanisme | Disseny |
| Càlculs | Simulacions | NX 7.5 | |

FINAL GRADE PROJECT

ABSTRACT (50 lines maximum)

Nowadays, the SIRMS (Synchrotron Infrared Microspectroscopy) is one of the most used techniques with polymeric and ceramic materials in these fields: Biology and biomedicine, industrial and forensic analysis, archeometry and cultural heritage. On the ALBA Synchrotron, located at Cerdanyola del Vallès, they want to incorporate a new line with these features. To take advantage of this technique, a mechanism is needed, which is intended to move angularly the mirrors that transport the infrared light from inside of the tunnel to the outside, in order to be used by the microspectroscopy, under ultra high vacuum conditions.

Before we start to pose, at the first part of the project, the background coming from the Synchrotron SOLEIL of France is taken in consideration, because they are using this technique since year 2006. Also, customer's requirements are studied, which in this case are the same scientists of the ALBA Synchrotron, the ones proposed by the trainee and the responsible engineer of the project.

At the second part, a rough draft of the mechanism that will be used is presented, which aims to move the mirrors in the required angular movements. After this, the conceptual design is created posing all the components, in order to be mounted on the new line. To achieve this, computer assisted tools are used, specifically, the program Siemens NX 7.5. A software with growing projection on the engineering world, and as a working tool of the Synchrotron's engineering department.

Once the conceptual design is done, analytic calculations are made in mechanical terms, in order to justify standard components and a finite elements simulation with the ANSYS software, with the aim of studying the feasibility of the project.

At the last part, the necessary plans are made for it's later fabrication, montage and requested budget. Also, an economic study of the production costs is done.

Keywords (10 maximum):

| | | | |
|--------------|-------------|-----------|--------|
| SIRMS | Synchrotron | Mechanism | Design |
| Calculations | simulation | NX 7.5 | |

SUMARI

| | |
|--|-----------|
| 1. GLOSSARI | 7 |
| 2. PREFACI | 9 |
| 2.1. Origen del projecte..... | 9 |
| 2.2. Sincrotró Alba..... | 9 |
| 2.3. Raig Infraroig..... | 10 |
| 2.4. Microespectroscòpia d'Infraroig | 11 |
| 3. INTRODUCCIÓ | 12 |
| 3.1. Objectius del projecte..... | 12 |
| 3.2. Motivació | 12 |
| 3.3. Abast del projecte | 12 |
| 3.4. Antecedents | 13 |
| 4. ESPECIFICACIONS | 16 |
| 5. DISSENY CONCEPTUAL | 18 |
| 6. UBICACIÓ CONJUNTS | 22 |
| 7. ANÀLISIS DISSENY CONCEPTUAL | 26 |
| 8. DIFERENTS PARTS. DISSENY FINAL | 32 |
| 8.1. Conjunt Mirall | 33 |
| 8.1.1. Suport Mirall | 33 |
| 8.1.2. Braç..... | 35 |
| 8.2. Manxa | 36 |
| 8.3. Goniòmetre | 37 |
| 8.3.1. Fixació del goniòmetre | 38 |
| 8.3.2. Conjunt Roll i Pitch | 41 |
| 8.3.3. Actuator | 45 |
| 9. ESTUDI ECONÒMIC | 53 |
| 10. IMPACTE MEDI AMBIENTAL | 55 |
| 11. CONCLUSIONS | 56 |
| 12. AGRAÏMENTS | 57 |
| 13. BIBLIOGRAFIA | 59 |
| 13.1. Referències bibliogràfiques..... | 59 |
| 13.2. Bibliografia complementària..... | 59 |

1. Glossari

- IR: Abreviatura del anglès Infrared Ray, que en català significa raig infraroig
- Microscòpia: tècnica de produir imatges visibles d'estructures o detalls massa petits per a ser percebuts a primera vista)
- LS: Abreviatura de Llum Sincrotró
- LINAC: Dispositiu generador d'electrons per ser accelerats
- CELLS: Consorci per a la Construcció, Equipament i Explotació del Laboratori de Llum Sincrotró
- MIRAS: Abreviatura de Microespectroscòpia Infraroja amb Radiació Sincrotró
- UHV: Abreviatura del anglès Ultra High Vacuum, que significa ultra alt buit, corresponent a $7 \cdot 10^{-7}$ Pa
- Roll: Nom utilitzat en anglès dins del Sincrotró ALBA per referir-se al moviment angular de balanceig.
- Pitch: Nom utilitzat en anglès dins del Sincrotró ALBA per referir-se al moviment angular de capcineig o inclinació.

2. Prefaci

2.1. Origen del projecte

L'origen del projecte se situa dins de les activitats de pràctiques de l'empresa Sincrotró AILBA, davant la possibilitat d'ampliar les mateixes en fer un estudi d'un dels projectes concrets plantejats. Aquest projecte quedava circumscrit als problemes mecànics de posicionament dels miralls de transport d'una línia nova a construir denominada MIRAS (Microespectroscòpia Infraroja amb Radiació Sincrotró).

2.2. Sincrotró Alba

El sincrotró de llum ALBA (Figura 1) és una infraestructura científica de tercera generació situada a Cerdanyola del Vallès (Barcelona) i és la més important de la zona del Mediterrani.

Es tracta d'un complex d'acceleradors d'electrons per produir llum de sincrotró, la qual permet visualitzar l'estructura atòmica dels materials i estudiar les seves propietats.

S'anomena Llum Sincrotró (LS) a la llum que emeten les partícules carregades que es mouen a velocitats relativistes quan segueixen trajectòries corbes. Aquesta llum, d'alta energia i intensitat, altament focalitzada i que a més està linealment polaritzada s'utilitza usualment per a l'estudi de la matèria, en aplicacions industrials o d'investigació de caràcter físic, químic, biològic, farmacèutic o mèdic. L'instrument bàsic per produir la Llum Sincrotró és un accelerador circular de partícules [Campmany, 1997] (electrons, en el cas del laboratori ALBA)

L'energia del feix d'electrons que es genera a l'ALBA és de 3 GeV i s'aconsegueix mitjançant la combinació d'un accelerador lineal (LINAC, dispositiu generador d'electrons per ser accelerats) i un propulsor de baixa emitància i màxima potència col·locat al mateix túnel que l'anell d'emmagatzematge. El Sincrotró ALBA té un perímetre de 270 metres i 17 trams rectes disponibles per a la instal·lació de dispositius d'inserció.

Actualment, l'ALBA disposa de set línies de llum operatives de la fase I, que comprenen tant els raigs X tous com els raigs X durs, i que es destinen principalment a les biociències, la matèria condensada (nanociència i propietats magnètiques i electròniques) i la ciència dels materials. Es troben en construcció dues línies de llum més de la fase II (microespectroscòpia infraroja i fotoemissió de baixa energia i alta resolució angular per a materials complexos).

Aquesta gran infraestructura científica genera 5.000 hores de llum anualment i està disponible per oferir servei a més de 1.000 investigadors de la comunitat acadèmica i del sector industrial cada any. Des de 2012 allotja usuaris oficials procedents d'institucions de l'Estat espanyol (75%) i també d'altres països (25%).

L'ALBA està gestionat pel Consorci per a la Construcció, Equipament i Explotació del Laboratori de Llum Sincrotró (CELLS) i cofinançat a parts iguals per l'Administració espanyola i catalana.



Figura 1. Vista aèria Sincrotró ALBA

2.3. Raig Infraroig

És la part de l'espectre electromagnètic amb una longitud d'ona més llarga que la llum visible però més curta que la radiació de microones. El seu nom significa "per sota del vermell", ja que el vermell és el color de la llum visible amb una major longitud d'ona. La radiació infraroja s'estén al llarg de tres ordres de magnitud amb longituds d'ona d'entre 700 nanòmetres i 1 mil·límetre. Tot i que els vertebrats no poden percebre la radiació infraroja en forma de llum, si que la poden percebre com a calor per unes terminacions nervioses especialitzades de la pell conegudes com a termoreceptors

2.4. Microespectroscòpia d'Infraroig

L'espectroscòpia infraroja (IR), tècnica analítica experimental, molt usada en química i en física basada en la detecció de l'absorció o emissió de radiació electromagnètica de certes energies i relacionar aquestes amb els nivells d'energia implicats en transicions quàntiques de la substància a detectar, és sens dubte la tècnica de caracterització més utilitzada en el món per la seva gran versatilitat, i la riquesa d'informació que proporciona de sistemes moleculars. A més, en combinació amb la microscòpia (tècnica de produir imatges visibles d'estructures o detalls massa petits per a ser percebuts a primera vista) emprant un sincrotró com a font de la radiació IR, es converteix en una eina única d'enorme potència i gran aplicabilitat. En els últims anys, la tècnica MIRAS (Microespectroscòpia Infraroja amb Radiació Sincrotró) ha experimentat un creixement espectacular a causa precisament de la seva gran impacte en diversos camps, des de la biologia i biomedicina, anàlisi forense i industrial, arqueometria i patrimoni cultural, fins als materials polimèrics i ceràmics, geologia i astrofísica, entre d'altres. En l'actualitat, hi ha més de 20 línies de sincrotró IR, i la construcció de noves línies per IR i microespectroscòpia IR estan projectades a gairebé tots els sincrotrons del món.

La utilització d'un sincrotró com a font de radiació IR és coneguda des de 1982 quan va ser demostrat experimentalment en Brookhaven National Laboratory (EUA). La primera instal·lació de MIRAS va ser construïda en Brookhaven en 1993. Des de llavors la tècnica s'ha estès i avui està disponible en més de 15 línies de llum en sincrotrons de diversos llocs del món.

En la següent imatge (Figura 2) es poden observar les ubicacions de totes les línies que estan en funcionament (color groc) i la del corresponent a MIRAS, en construcció (color vermell), corresponents al Sincrotró ALBA.

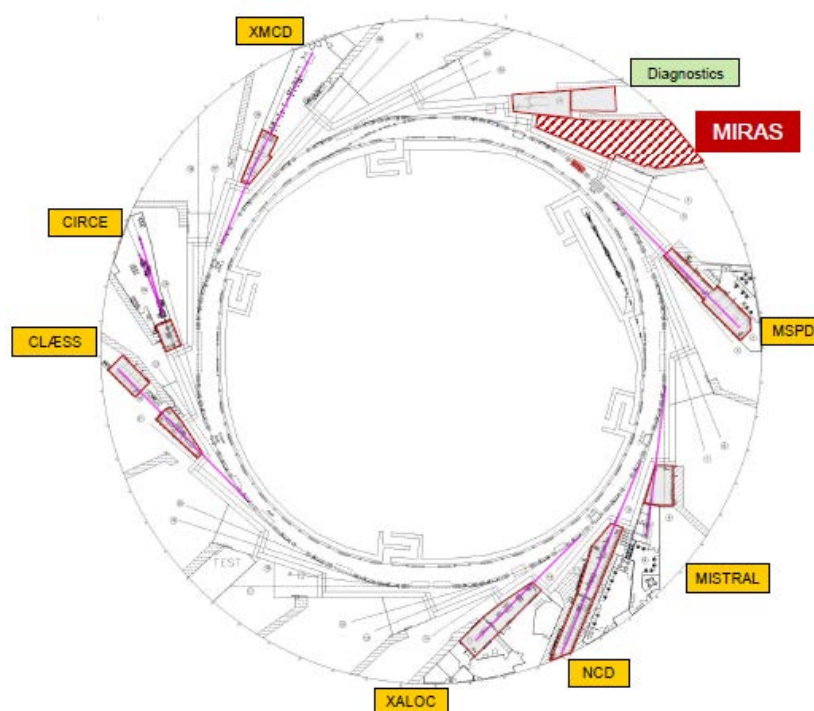


Figura 2. Ubicació de les diferents línies del Sincrotró ALBA

3. Introducció

En aquest projecte es dissenya un mecanisme per moure angularment vuit miralls que aniran al buit. Cada un d'ells s'haurà de moure independentment i simultàniament en dos moviments angulars, que són el roll i el pitch (denominació emprada en anglès dins del Sincrotró ALBA que fa referència als moviments angulars de balanceig i capcineig o inclinació respectivament). Aquests miralls tenen l'objectiu de transportar el feix de llum (raig infraroig) d'una nova línia en construcció i fer passar el raig de dins del túnel del Sincrotró Alba, cap al exterior d'aquest i d'aquesta manera ser utilitzat pels científics. Per portar a terme aquest projecte es tindran en compte els antecedents procedents d'un altre Sincrotró, les especificacions dels físics i s'estudiaran els diferents materials que poden ser utilitzats, ja que està en UHV (Ultra High Vacuum , que en català significa ultra alt buit). Per realitzar el disseny s'utilitzarà el programa NX 7.5, que és el software que fan servir dins el departament d'enginyeria i d'aquesta manera aprofitar l'ús d'aquest per familiaritzar-se amb ell.

3.1. Objectius del projecte

L'objectiu principal consisteix en dissenyar un sistema mecànic de posicionament de miralls de transport de la línia MIRAS del Sincrotró ALBA, mitjançant programes de disseny en 3D, la selecció de materials adequats, càlculs analítics i simulacions de càlcul d'elements finits, per tal d'aconseguir un producte dissenyat de forma modular, el més estandarditzat possible i així aconseguir una instal·lació més senzilla.

3.2. Motivació

La motivació de l'alumne ve donada pel fet de voler realitzar unes pràctiques en una empresa on poder seguir aprenent, en aquest cas en un centre d'investigació i recerca, agafar una certa experiència en l'àmbit de l'enginyeria i ja de pas aprofitar aquesta estància per realitzar el treball de final de grau.

3.3. Abast del projecte

El projecte està compost per diferents parts:

En primer lloc es descriuran les especificacions proporcionades pels clients, en aquest cas els científics del propi Sincrotró ALBA. Seguidament a partir d'aquestes, es crearà un disseny conceptual definit sempre contemplant la solució més senzilla o interessant a nivell conceptual amb alguns components ja seleccionats i justificats mitjançant càlculs analítics i simulacions d'elements finits,. En tercer lloc s'explicaran els components ja detallats i materials a utilitzar. En quart lloc es faran els plànols amb toleràncies i acabats superficials adients per a la posterior fabricació i ja per acabar, s'exposarà un estudi econòmic de tot el procés.

3.4. Antecedents

En el Sincrotró de França (SOLEIL) es fan experiments amb raig infrarojos, MIRAS (Microespectroscòpia Infraroja amb Radiació Sincrotró), des de l'any 2006. Moltes vegades es treballa conjuntament amb el Sincrotró ALBA i aquesta vegada no va ser una excepció.

Des del Sincrotró SOLEIL van proporcionar informació al Sincrotró ALBA del sistema utilitzat per ells alhora de transportar el feix de llum del interior del túnel cap al exterior d'aquest (Figura 3, 4 i 5). Aquesta informació va servir de molta ajuda per tenir una visió més explícita del que demanaven els clients, en aquest cas, els propis científics del Sincrotró Alba.

En la següent imatge (Figura 3) es pot observar el sistema de transport del raig infraroig utilitzat pel Sincrotró SOLEIL, que consisteix en transportar aquest a través d'unes cambres de buit mitjançant uns miralls pensats únicament amb aquesta finalitat ubicats en el interior d'aquestes, amb l'objectiu de fer rebotar aquest raig, entre ells, en direcció i sentit desitjats per tal de crear un recorregut que el porti des del interior del túnel, o sigui, des de l'extracció del feix de llum fins al laboratori ubicat al exterior, travessant el mur de formigó.

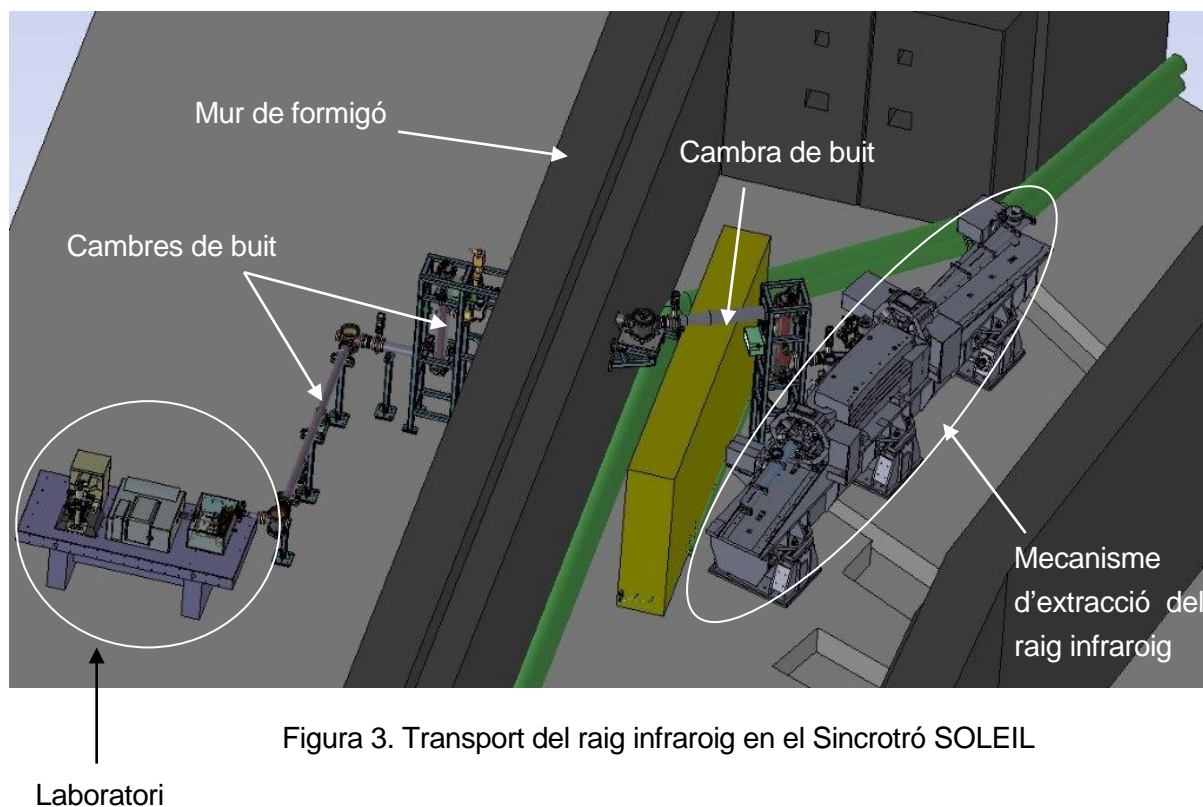


Figura 3. Transport del raig infraroig en el Sincrotró SOLEIL

A continuació (figura 4) es pot veure de forma més detallada el sistema de transport del raig infraroig corresponent a l'extracció d'aquest, ubicat en l'interior del túnel, on es poden apreciar de més a prop les cambres de buit i els conjunts dels sistemes mecànics de posicionament dels miralls de transport.

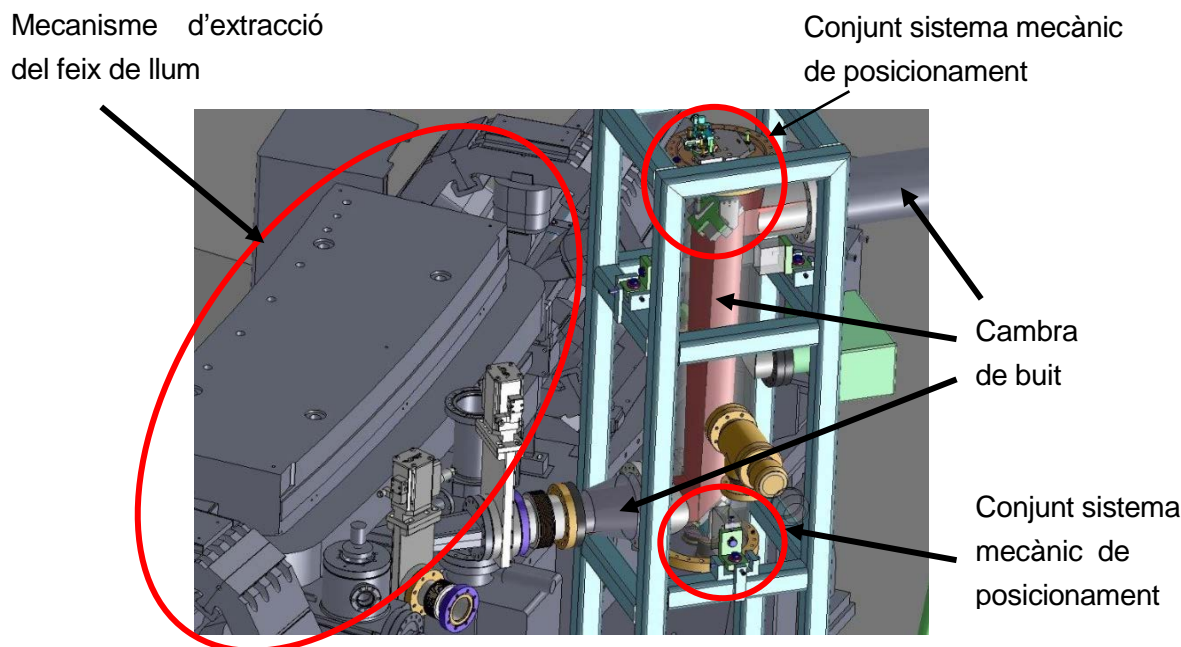


Figura 4. Sistema de transport del raig infraroig en l'interior del túnel del Sincrotró SOLEIL

En la següent imatge (Figura 5) es pot veure el mateix sistema de transport, però aquesta vegada en l'altre extrem de la paret de formigó, la que correspon a la zona externa del túnel

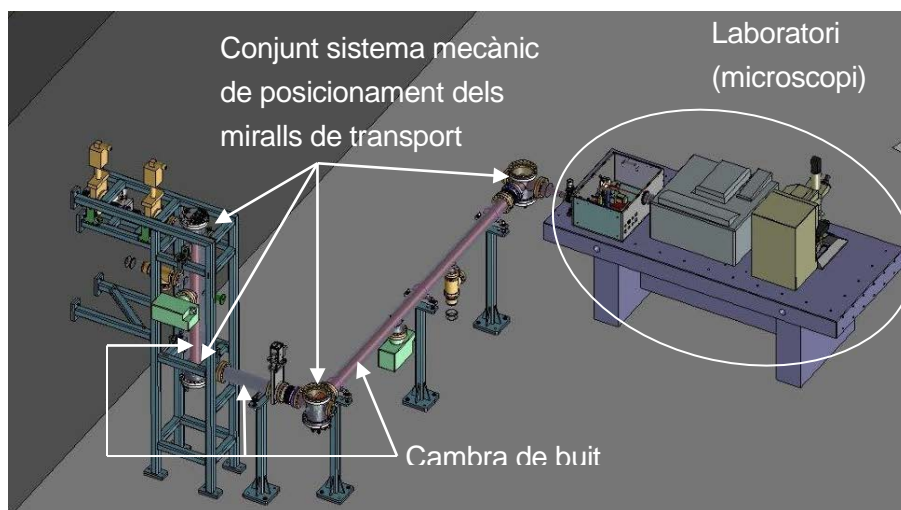


Figura 5. Sistema de transport del raig infraroig en l'exterior del túnel del Sincrotró SOLEIL

Tot seguit (Figura 6) es mostra de forma més detallada el conjunt del sistema mecànic de posicionament dels miralls de transport. Per a una millor visualització s'ha cregut convenient eliminar alguns components del conjunt i d'aquesta manera veure el mecanisme sencer. Tal i com es pot apreciar, sense entrar en detall, el conjunt està subjecte gràcies a una bancada i el mirall queda ubicat al mig de la cambra de buit amb una posició determinada per assolir l'objectiu desitjat

El sistema per moure els miralls utilitzat en el Sincrotró SOLEIL és un sistema conceptual mecànic diferent del que es vol crear en aquest projecte, això és degut entre altres coses, perquè les dimensions dels miralls són diferents a les que es faran servir en aquest.

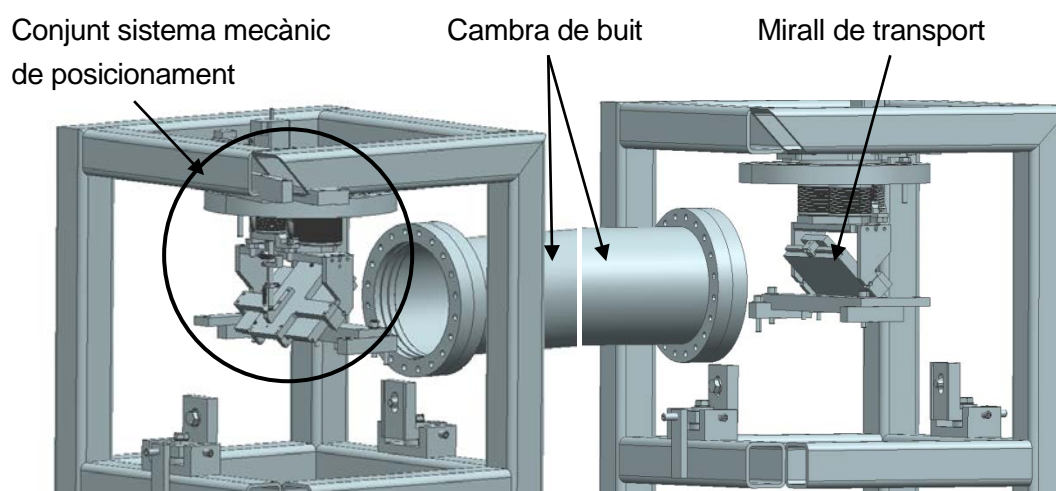


Figura 6 . Diferents vistes del conjunt sistema mecànic de posicionament dels miralls de transport del Sincrotró SOLEIL

Totes aquestes imatges (Figura 4 , 5 i 6) són simulacions en programes 3D, però són suficients per entendre el tipus de projecte que s'ha de portar a terme.

4. Especificacions

Tot seguit, en la taula següent (Taula 1) estan resumides les especificacions més essencials que s'han de tenir en compte alhora de plantejar el projecte. Estan reflectides en aquest recull les especificacions imposades pels clients, en aquest cas els científics del Sincrotró, i les dels enginyers responsables del projecte.

Taula 1. Resum de les especificacions essencials

| | | | | |
|---|----------|---|-----|---|
| Empresa Client: Sincrotró ALBA | | Producte: ISTEMA MECÀNIC DE POSICIONAMENT DELS MIRALLS DEL SINCROTRÓ | | Data inicial: 09-05-2015 Darrera revisió: 31-07-2015 |
| Empresa d'enginyeria: Sincrotró ALBA | | | | Pàgina 1/2 |
| ESPECIFICACIONS | | | | |
| Concepte | Data | Proposta | R/D | Descripció |
| Funció | 09-05-15 | C | R | Posicionar els miralls amb dos moviments (Roll i Pitch) |
| | | E | D | Estandarditzar-los el màxim possible (instal·lació modular) |
| Dimensions | 09-05-15 | C | R | M2 Pla 130 x 120 mm |
| | | C | R | M3 toroïdal 140 x 150 mm; Radi curvatura tangencial = 4180,87 mm; Radi curvatura sagital = 2090,43 mm |
| | | C | R | M4 pla 280 x 70 mm |
| | | C | R | M5 i MBS1 plans 110 x 100 mm |
| | | C | R | M6 cilíndric 110 x 100 mm; Radi curvatura sagital = 2305,16 mm |
| | | C | R | M7 cilíndric 100 x 110 mm; Radi curvatura sagital = 3719,37 mm |
| | | C | R | M8 parabòlic 100 x 110 mm Radi curvatura tangencial = 1979,89 mm Radi curvatura sagital = 989,94 mm |
| | | | | |

| | | | | |
|------------------------------|----------|-----|---|---|
| | | E | R | Guies amb R = 300 mm |
| | | E | R | Miralls no poden tocar a dins la cambra |
| | | C+E | R | Ubicació on aniran instal·lats els mecanismes |
| | | C | R | Rotació miralls roll (balanceig) i pitch (inclinació) |
| Moviments | 09-05-15 | C | R | Rang angular de 0.5° |
| | | E | R | Rang angular de 1.5° |
| | | C+E | R | Resolució de $9 \cdot 10^{-4}^\circ$ |
| | | C+E | R | Precisió de 0.014° |
| | | C+E | R | Repetibilitat de $2 \cdot 10^{-4}^\circ$ |
| Energia | 09-05-15 | E | R | Electricitat = 220 V |
| Materials | 12-06-15 | E | R | Compatibles amb UHV (Ultra Alt Buit): acer inoxidable, alumini i alumini 6061 |
| | | E | D | Suport mirall, brida i manxa d'acer inoxidable |
| | | E | D | Fleix, material que aguantí el límit elàstic |
| | | E | R | Elements estàndards, materials del fabricant |
| | | E | D | Resta de components possiblement d'alumini |
| | | C | R | Miralls d'alumini 6061 |
| Senyals/ Controls | 31-07-15 | D | E | Lector de posició angular |
| | 31-07-15 | D | E | Sensor final carrera |
| Vida útil | 31-07-15 | D | E | 20 anys |
| Costos | 31-07-15 | C+E | R | 18.000 €/ Conjunt mirall de transport |
| | | | | 144.000 €/ Tots els conjunts |

Proposta: C = Client; E = Enginyer

R/D: R = Requeriment; D = Desig

M = Mirall

5. Disseny Conceptual

Partint dels antecedents facilitats pel Sincrotró SOLEIL i les especificacions ja esmentades en l'apartat 4, el següent pas és crear un disseny conceptual amb la finalitat de dimensionar-ho i poder començar a treballar sobre aquest mateix per tal d'anar definint de mica en mica cada component fins arribar al disseny final.

A l'hora de plantejar com es vol dissenyar el projecte s'han de tindre en compte diferents especificacions. Les més característiques són: ha de ser un mecanisme el més estandarditzat possible, que aquest sigui el mateix per els vuit miralls, que tingui una instal·lació modular, les dimensions dels miralls, els dos moviments angulars que han de realitzar els miralls i l'angle d'aquests dos.

Les mides dels miralls són molt importats perquè serveixen per dimensionar les cambres de buit que aniran per tota la línia MIRAS. S'agafarà com a referència el que tingui les dimensions més grans, ja que és el cas més conservador, que correspon al número quatre, de 280 x 70 mm. A partir d'aquí, el següent pas és trobar una cambra de buit amb un diàmetre que compleixi amb les dimensions ja comentades i que sigui suficientment espaiosa per poder rotar el mirall en dos direccions angulars, roll i pitch i un angle de $\pm 1.5^\circ$ cada un. En aquest cas s'haurà de fer a mida, ja que el diàmetre extern haurà de ser de 204 mm amb 3 mm de gruix i en el mercat no n'hi ha d'aquestes dimensions. El que si que serà normalitzat és la brida d'aquesta cambra, més concretament una CF200.

A continuació, el següent pas és dissenyar un mecanisme responsable de crear els dos moviments angulars ja esmentats. Per aquest objectiu es tria una guia circular de radi 300 mm de la marca THK (l'únic fabricant de guies circulars de precisió) amb el seus dos carros corresponents. De totes les opcions a tenir en compte en el mercat, l'únic que encaixa en aquest cas correspon al del radi esmentat, ja que els demés queden en l'interior de la cambra, que no interessa perquè sinó estaria al buit, o queden massa en fora.

Tal i com s'ha dit, el rang de gir angular que hauran de tenir els mirall a dins les cambres de buit haurà de ser de $\pm 1,5^\circ$. En realitat l'establert pels clients, en aquest cas els propis científics del Sincrotró ALBA, correspon a $\pm 0,5^\circ$. L'augment angular és degut a què l'estudiant en pràctiques i l'enginyer responsable del projecte s'han volgut assegurar un marge d'error suficient pel centratge i muntatge del mecanisme en qüestió.

A continuació (Figura 7) s'exposa un esborrany del que seria el disseny conceptual del mecanisme utilitzat en cada un dels vuit conjunts, tenint únicament com a referència els components i especificacions esmentats fins ara. Es pot apreciar com un mirall ubicat en el interior d'una cambra de buit es mou amb un angle de $\pm 1,5^\circ$, gràcies a un mecanisme ubicat en el exterior, que està format per una guia circular i els seus dos carros corresponents.

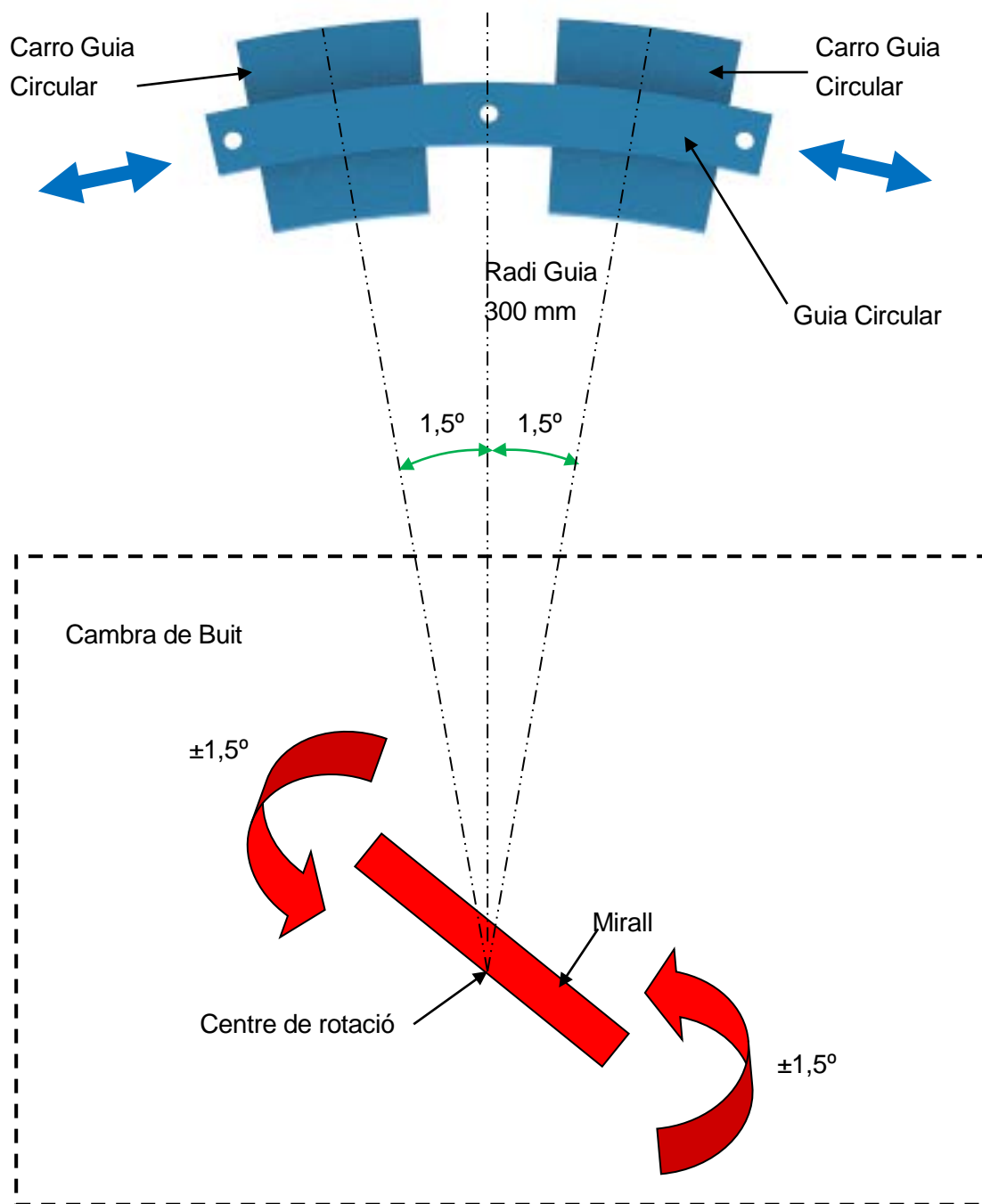


Figura 7. Esborrany del mecanisme del disseny conceptual

Per tal d'entendre millor els moviments angulars a crear, es proporciona una explicació visual (Figura 8) dels moviments que realitzaran els miralls quan se'ls hi apliquin aquests.

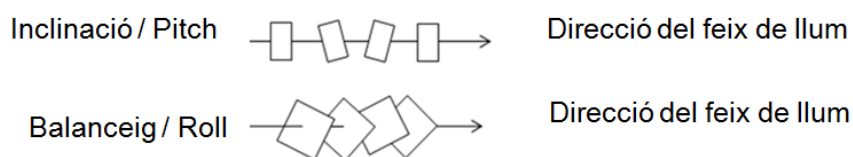


Figura 8. Representació moviment angulars dels miralls

En les imatges que venen a continuació (Figura 9 i 10) es poden observar dos figures corresponents al disseny conceptual del conjunt del sistema mecànic de posicionament dels miralls. Aquest ha estat creat per l'estudiant en pràctiques i verificat per l'enginyer responsable del projecte, utilitzant el software NX 7.5, a partir de l'esborrany.

En la figura 9 es mostra el conjunt sencer on s'identifiquen alguns components bàsics com el goniòmetre (responsable de crear els moviments angulars), els components d'unió (tal i com diu el nom són els que uneixen el goniòmetre amb la cambra de buit, aquests estan fixos), el braç (responsable de transmetre el moviment del goniòmetre cap al mirall) i el mirall (component creat pels científics).

En la figura 10 es mostra el goniòmetre sol, però des de una altra perspectiva, per tal de poder apreciar-lo millor.

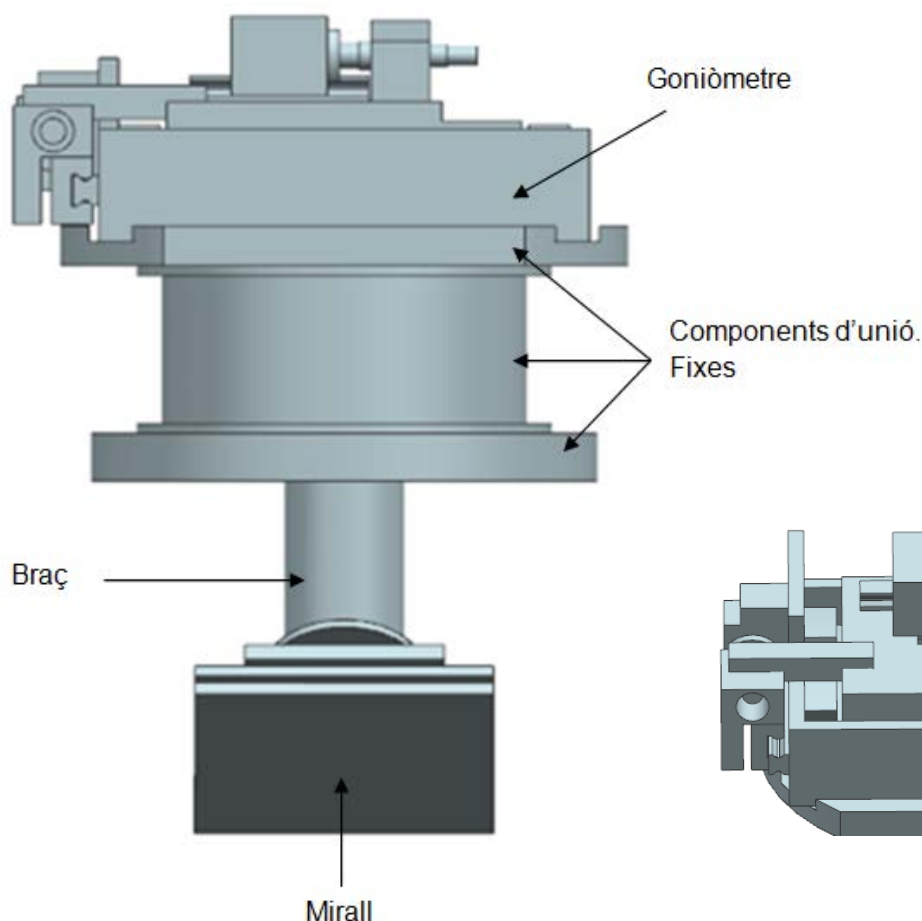


Figura 9. Disseny conceptual del conjunt del sistema mecànic de posicionament dels miralls de transport

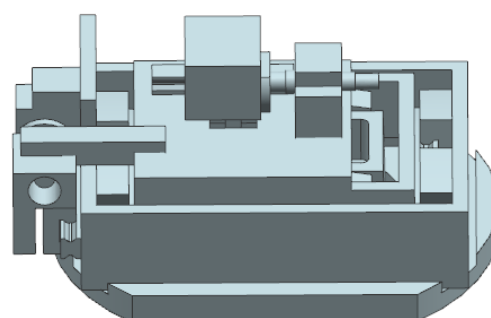


Figura 10. Disseny conceptual del goniòmetre

En les dues imatges que venen a continuació (Figura 11 i 12) s'identifiquen les parts més importants del conjunt. Més endavant (Apartat 8) s'explicaran detalladament cada una d'elles.

Començant per la part de dalt de la figura 11, corresponent a una secció parcial del conjunt, es pot apreciar el goniòmetre, responsable de crear els moviments angulars, format entre altres components, per quatre guies circulars (dos per cada moviment) i els seus carros corresponents. A continuació un connector amb la funció d'unir el goniòmetre amb la brida. Si es va baixant, es troba la brida, que ha de ser del mateix diàmetre que la de la cambra de buit, on anirà connectada. Tot seguit, un braç que girarà solidàriament amb el goniòmetre, sent així l'encarregat de transferir el moviment d'aquest cap al suport del mirall. I ja per acabar el mirall que anirà subjecte en el seu suport corresponent.

En la imatge de la dreta (Figura 12), també es pot apreciar la secció de tot el conjunt, en aquest cas central, però aquesta vegada, deixant al descobert la manxa. Aquest component té la funció de mantenir el braç sota condicions de buit.

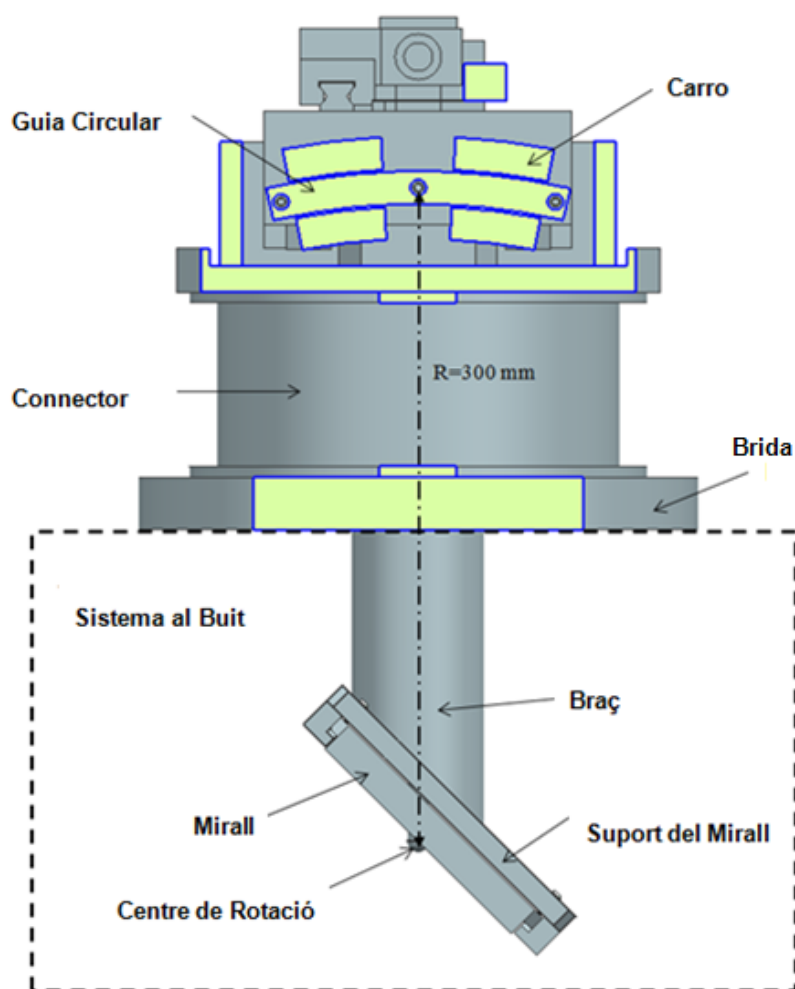


Figura 11 Secció del disseny conceptual de tot el conjunt

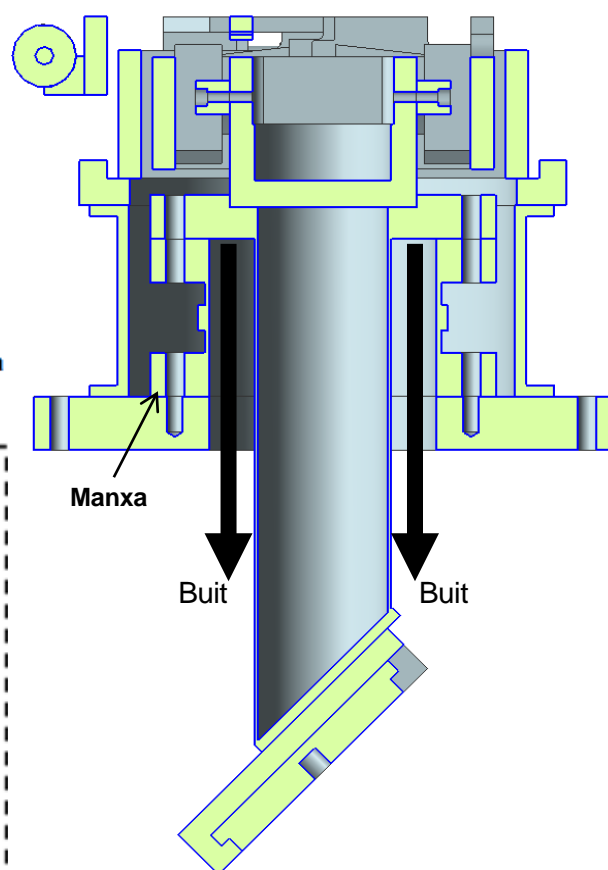


Figura 12. Secció del disseny conceptual de tot el conjunt

La imatge representativa que ve a continuació (Figura 14) mostra l'ubicació dels conjunts del sistema mecànic de posicionament dels miralls de transport dins la línia MIRAS del Sincrotró ALBA al detall. És completament igual que la imatge anterior (Figura 13), però amb la diferència que en aquesta no es poden apreciar els miralls, ja que es troben en el interior dels conjunts.

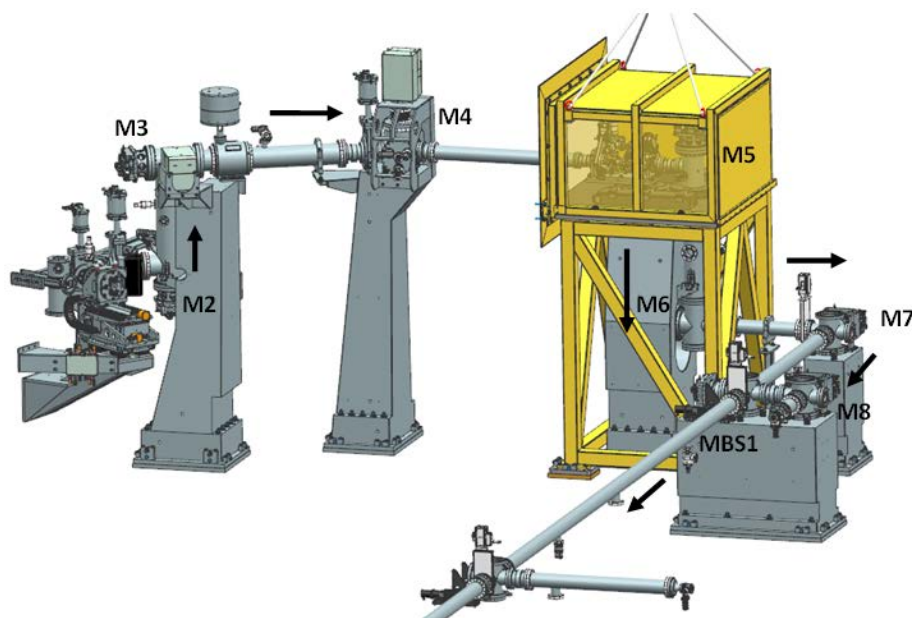
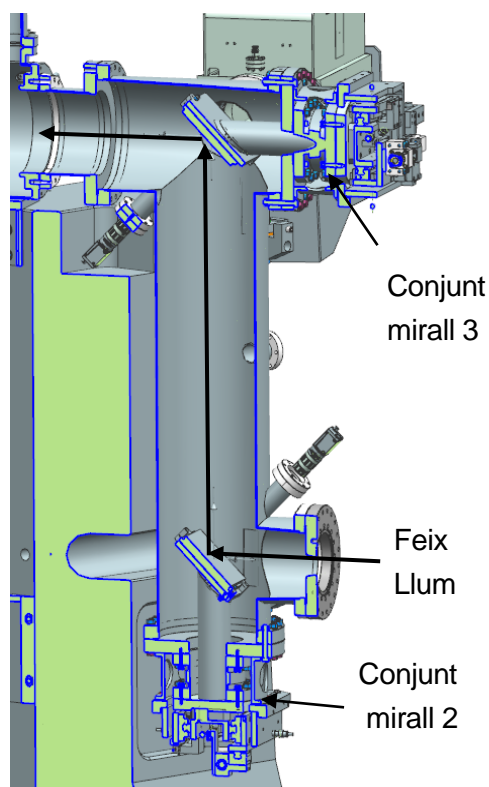


Figura 14. Representació del muntatge dels conjunts del sistema mecànic de posicionament dels miralls de transport de la línia MIRAS del Sincrotró ALBA



En la figura 14 es mostren els conjunts dels sistemes mecànics de posicionament dels miralls 2 i 3 ja muntats en les seves posicions corresponents. A més a més, també incorpora una vista amb una secció que per apreciar el recorregut del feix provinent del mirall 1 i passant pel dos i el tres.

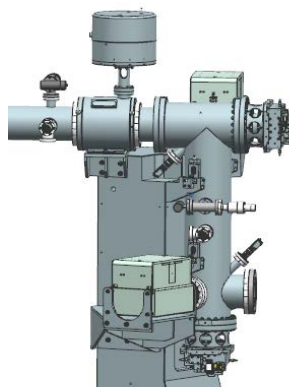


Figura 14. Muntatge conjunts dels sistemes mecànics de posicionament dels miralls 2 i 3

En la figura 15 es mostra una imatge de l'interior del Sincrotró ALBA, presa pel propi estudiant en pràctiques, on s'assenyala la ubicació exacte del laboratori de la línia MIRAS, que ara mateix ja està en procés de construcció.



Figura 15. Fotografia del interior del Sincrotró ALBA

La imatge corresponent a la figura 16 representa el laboratori dels científics a on es faran els experiments de microespectroscòpia infraroja amb radiació sincrotró. Just on està ubicada la cabina de seguretat (safety hatch), serà per on sortirà el feix de llum des del interior del túnel, fins al exterior d'aquest.

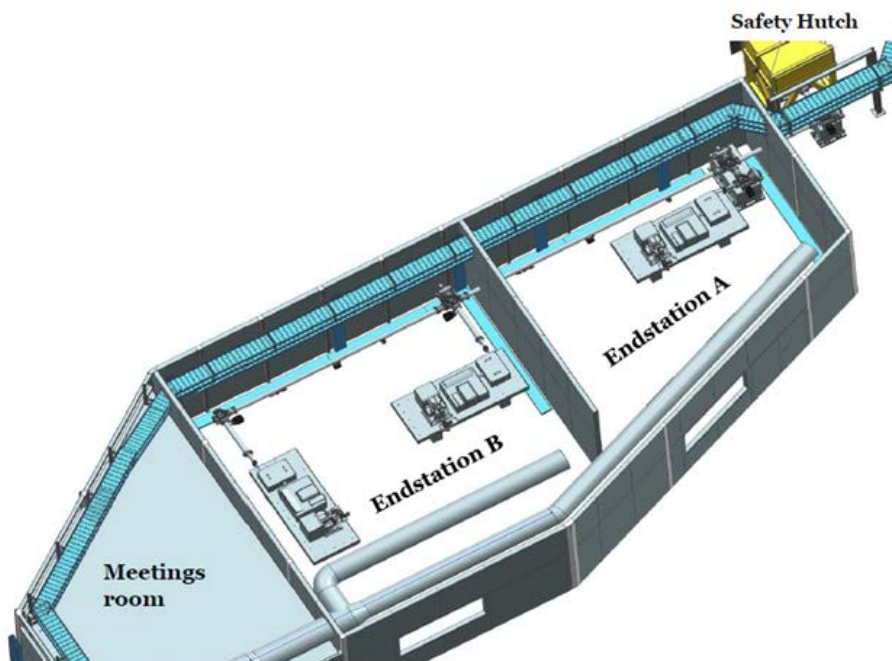


Figura 16. Representació del laboratori utilitzat en la línia MIRAS del Sincrotró ALBA

Les figures 17 i 18 són fotografies de l'interior del Sincrotró ALBA, preses pel propi estudiant en pràctiques, on es pot apreciar l'estat en construcció actual del laboratori de la línia MIRAS.



Figura 17. Fotografia del laboratori en construcció de la línia MIRAS del Sincrotró ALBA

Just on indica la fletxa ,és per on sortirà el feix de llum del interior del túnel.
Aquí anirà ubicada la cabina de seguretat



Figura 18. Fotografia del laboratori en construcció de la línia MIRAS del Sincrotró ALBA

7. Anàlisi Disseny Conceptual

Abans de començar a dissenyar de forma detallada sempre, en el Sincrotró ALBA, es fa una simulació d'elements finits per comprovar que el disseny que s'ha plantejat compleix les expectatives desitjades. Per dur a terme aquesta simulació, tenen un equip especialitzat en aquest tipus de càlculs en què fan servir el software ANSYS.

La informació que es vol obtenir d'aquest anàlisi s'ha de plasmar en un document oficial dins de l'empresa especificant totes incògnites a resoldre, facilitant tota la informació possible per a aconseguir les solucions desitjades. Aquest document està creat per l'estudiant en pràctiques i supervisat per l'enginyer responsable del projecte (Annexa 3).

A continuació s'adjunten un seguit de càlculs. La figura 19 correspon al del document d'especificacions de la simulació d'elements finits i les figures 20 fins la 27, exceptuen la 21, als dels resultats més destacables dels càlculs obtinguts amb software ANSYS.

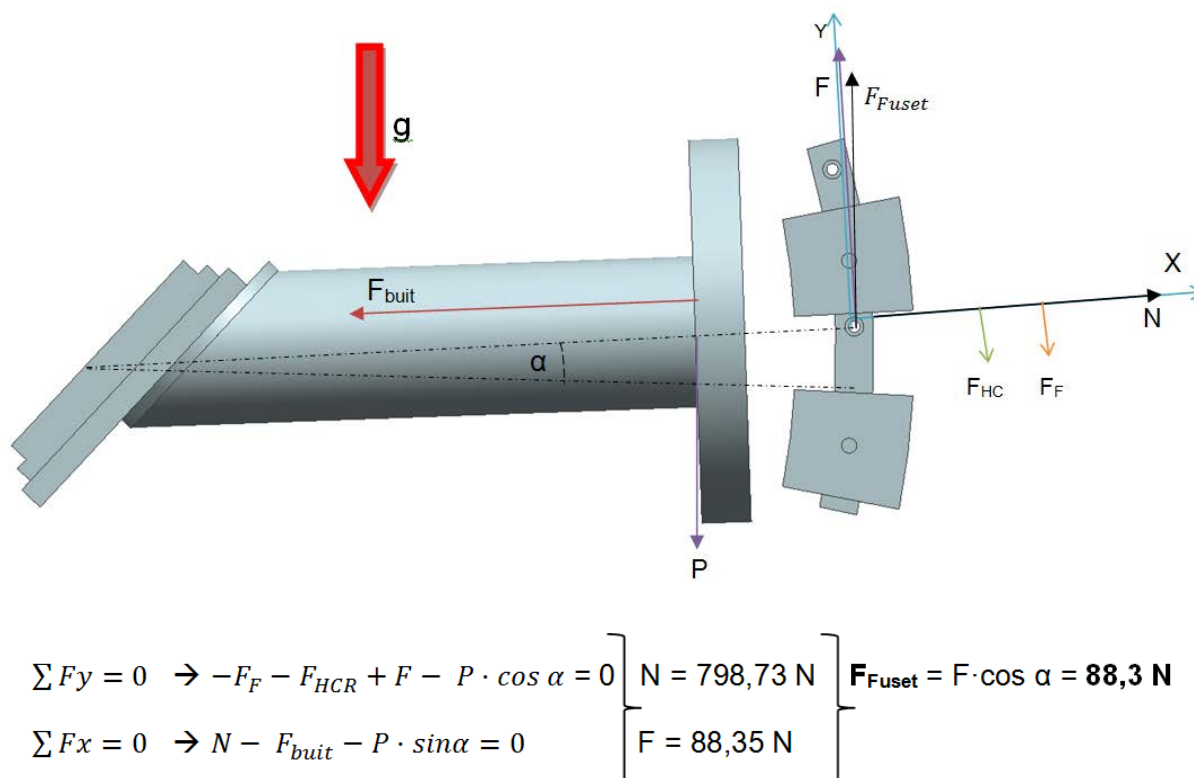


Figura 19. D.C.LL cas més restrictiu

A l'hora de realitzar l'informe d'especificacions corresponent a la simulació d'elements finits, s'ha de tenir present que aquest ha d'estar basat en el pitjor dels casos, o sigui, en el cas més conservador. Per tal de trobar-lo, es fa un diagrama de cos lliure i s'aconsegueix la força de fuset. Aquesta operació s'ha de realitzar com a mínim tantes vegades com possibles posicions del conjunt, en aquest cas dos (vertical i horitzontal). En la figura anterior (Figura 19) es pot apreciar el càlcul realitzat en dit informe obtenint la força de fuset del cas més conservador ($F_{\text{Fuset}} = 88.3\text{N}$), que tal i com es veu és en la posició horitzontal. És possible arribar a aquesta conclusió gràcies a la comparació amb l'altre diagrama de cos lliure realitzat dins l'informe. Tots aquests càlculs i més es poden trobar dins l'annex 4.

Els resultats més destacables dels càlculs d'elements finits i que per tant els que li donen més credibilitat al projecte alhora de tirar-lo en davant, són les imatges que venen a continuació (Figura 20 fins la 27, exceptuen la 21), corresponents al informe de resultats de la simulació d'elements finits (Annex 4)

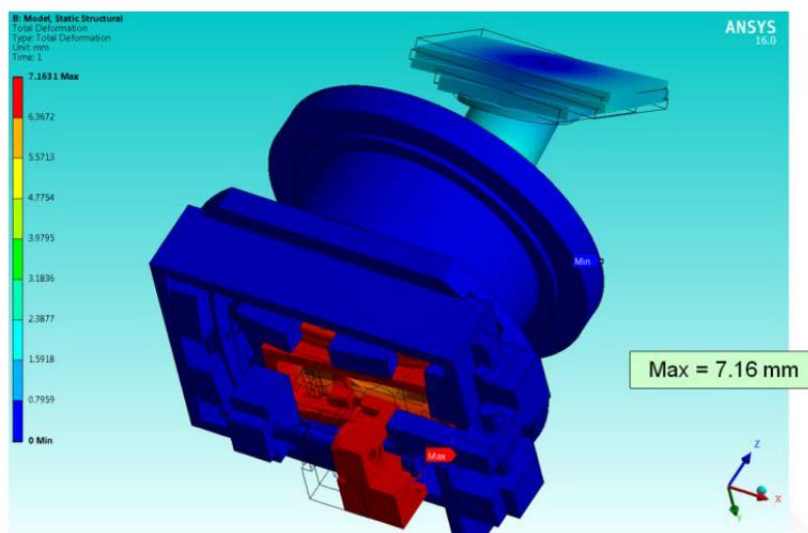
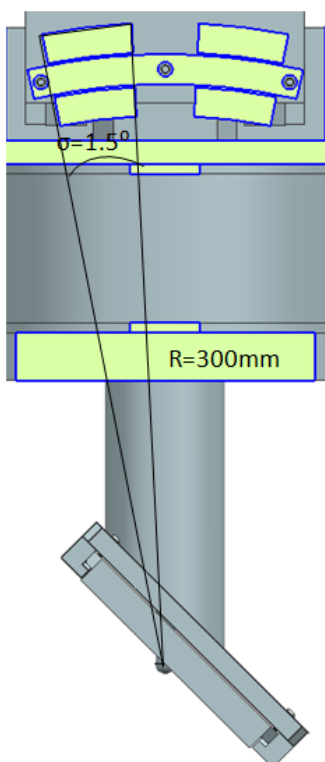


Figura 20. Deformació

La imatge de d'alt (Figura 20) correspon al resultat obtingut del càlcul de deformació. Òbviament el resultat que apareix en la imatge de 7.16 mm correspon a uns dels moviments de l'actuator (responsable d'iniciar el moviment) i que per lo tant s'aproxima al càlcul establert prèviament. Aquest càlcul es pot veure en la següent imatge (Figura 21), extreta d'un apartat dels càlculs ubicats en l'annex 4.

Es considera la propietat geomètrica de l'arc = $\sigma \cdot R$ per aproximar la distància entre les cares del carro:



$$\text{Arc} = 1.5^\circ \cdot \frac{\pi}{180^\circ} \cdot 300\text{mm} = 7,85\text{mm}$$

A continuació per trigonometria i amb aquesta distància obtinguda es calcula el recorregut de la guia lineal:

X (distància fuset)

Diagrama d'un triangle rectangle. L'angle $\alpha = 0.75^\circ$ està a la part superior esquerra. El costat oposat a aquest angle (la distància fuset) està etiquetat amb 'X'. L'hipotenus, que és la distància obtinguda anteriorment, està etiquetat amb '7,85 mm'.

$$\cos(0.75^\circ) = \frac{x}{7,85} \rightarrow$$

$$\rightarrow x = 7,85 \text{ mm}$$

Aquests càlculs se'n fet amb un angle de gir de $\pm 1,5^\circ$, ja que es vol assegurar un marge elevat de desplaçament i per aquest motiu la distància final s'arrodoneix a 7 mm de longitud

Figura 21. Obtenció longitud lineal del actuator

En les dos imatges que venen a continuació (Figura 22) es pot apreciar que la tensió obtinguda en el fleix d'acer és de 447 MPa (responsable de transmetre el moviment de l'actuator cap a les guies circulars). En aquest cas està molt per sobre del desitjat, ja que el límit elàstic d'aquest material oscil·la entre els 210 i 250 MPa. Per posar fi a aquest entrebanc es decideix utilitzar un acer de motlles del tipus DIN 46Si7, ja que aquest té un límit elàstic de 1000 MPa i per lo tant està per sota límit.

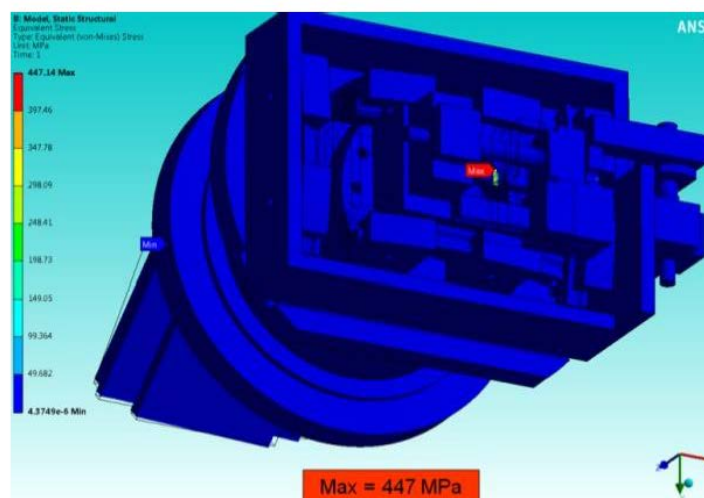


Figura 22. Tensió flexió

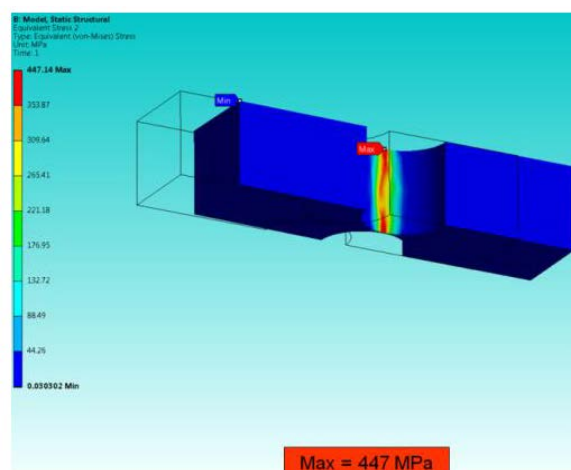


Figura 23. Tensió flex

La següent imatge (Figura 24) correspon al resum de tres anàlisis nodals. A continuació d'aquesta hi han tres més, (Figura 25, 26 i 27) corresponents a cada un d'ells.

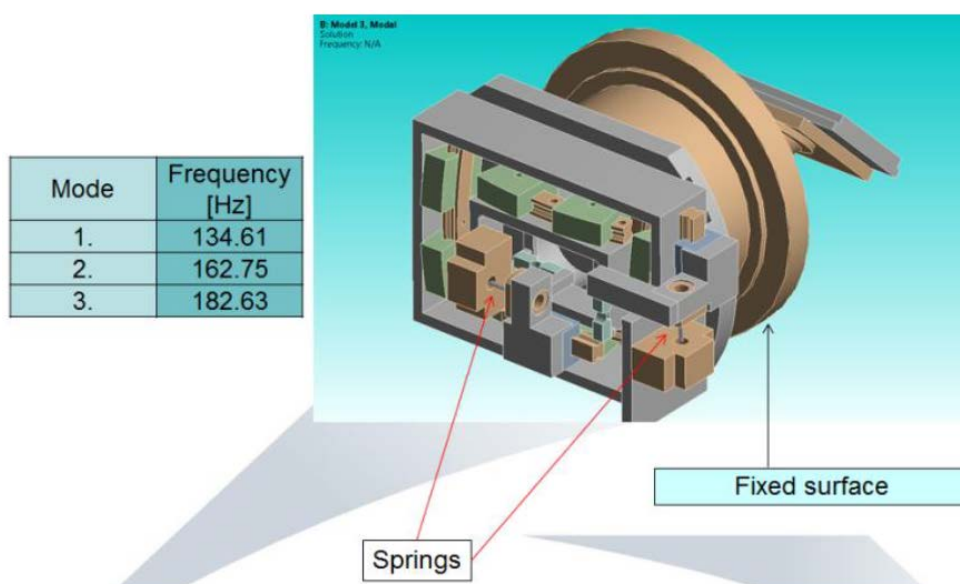


Figura 24. Resum anàlisi nodal

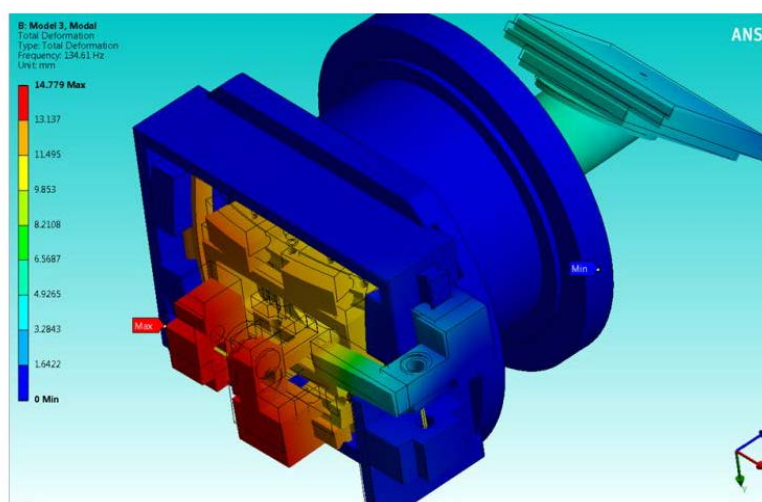


Figura 25. Anàlisi nodal conjunt pitch. 135Hz

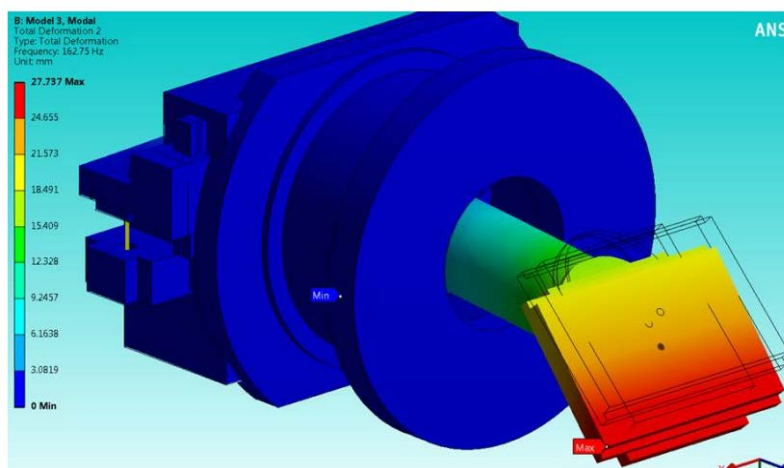


Figura 26. Anàlisi nodal mirall moviment pitch. 163 Hz

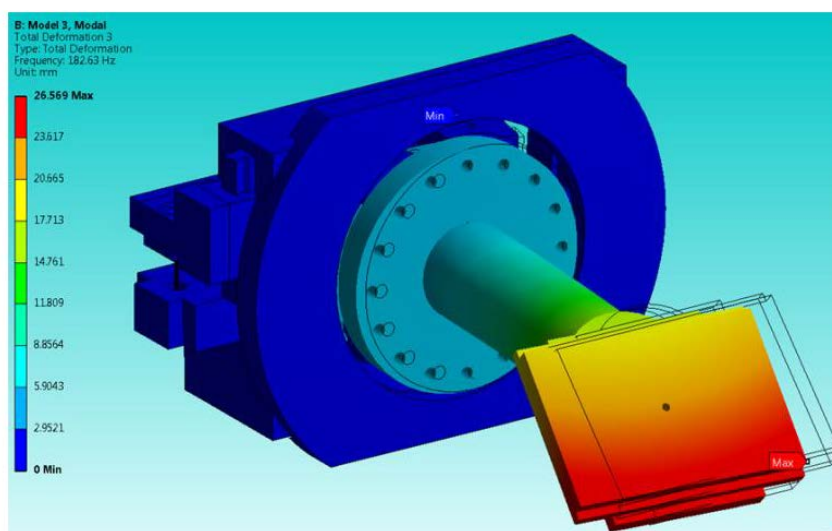


Figura 27. Anàlisi nodal moviment roll. 183 Hz

Ens els tres casos s'aprecien unes elevades freqüències pròpies del sistema mecànic. Això precisament és el que interessa. Contra més elevades millor, perquè voldrà dir que estan lluny de les freqüències ambientals de la zona experimental, que ronden els 25-30 Hz. Si les pròpies del sistema s'aproximessin a les ambientals, el sistema es podria autoexcitar fàcilment, provocant agitació no voluntària.

Per tal de verificar que l'elecció de la guia circular de radi 300 mm és apte pel muntatge, no només serveix dir que és la única que anava bé dimensionament parlant, ja que les altres opcions o eren massa petites (radi 150 mm), quedarien en el interior de la cambra, o eren massa grans (radi 400 mm), sinó que s'ha de demostrar analíticament. Per aquest motiu s'ha d'aïllar la força ($F_{\text{carga aplicada}}$) que rebrà la guia quan la de buit (perpendicular a la guia) actuï sobre ella i comparar aquesta obtinguda amb la que el fabricant facilita [1], per veure si està per sota d'aquesta i per lo tant poder-la utilitzar:

$$F_{\text{carga aplicada}} = \frac{F_{\text{Buit}}}{\text{número de carros}} < C_0 \rightarrow \frac{796 \text{ N}}{8} = \mathbf{99,5 \text{ N} < 10.800 \text{ N}}$$

C_0 = Força aplicada màxima permesa pel fabricant

Com que la força aplicada en el sistema de guies és igual a 99,5 N i aquesta no supera a la permesa pel fabricant que correspon a 10.800 N, llavors, es pot dir que la guia és apte per al muntatge.

Un cop corroborat que el sistema és totalment viable gràcies als càlculs d'elements finits i a la verificació de l'elecció de les guies circulars, el següent pas és començar a detallar peça per peça. A continuació, en el apartat 8 es pot apreciar amb més detall i profunditat totes les diferents parts que formen el conjunt.

8. DIFERENTS PARTS. Disseny Final

En les següents imatges (Figura 28 i 29) es pot apreciar el muntatge ja finalitzat del conjunt amb tots els detalls possibles. Junt amb elles li acompanyen tot un seguit d'indicacions assenyalant les diferents parts del conjunt. Tot seguit s'expliquen cada una d'elles més detalladament.

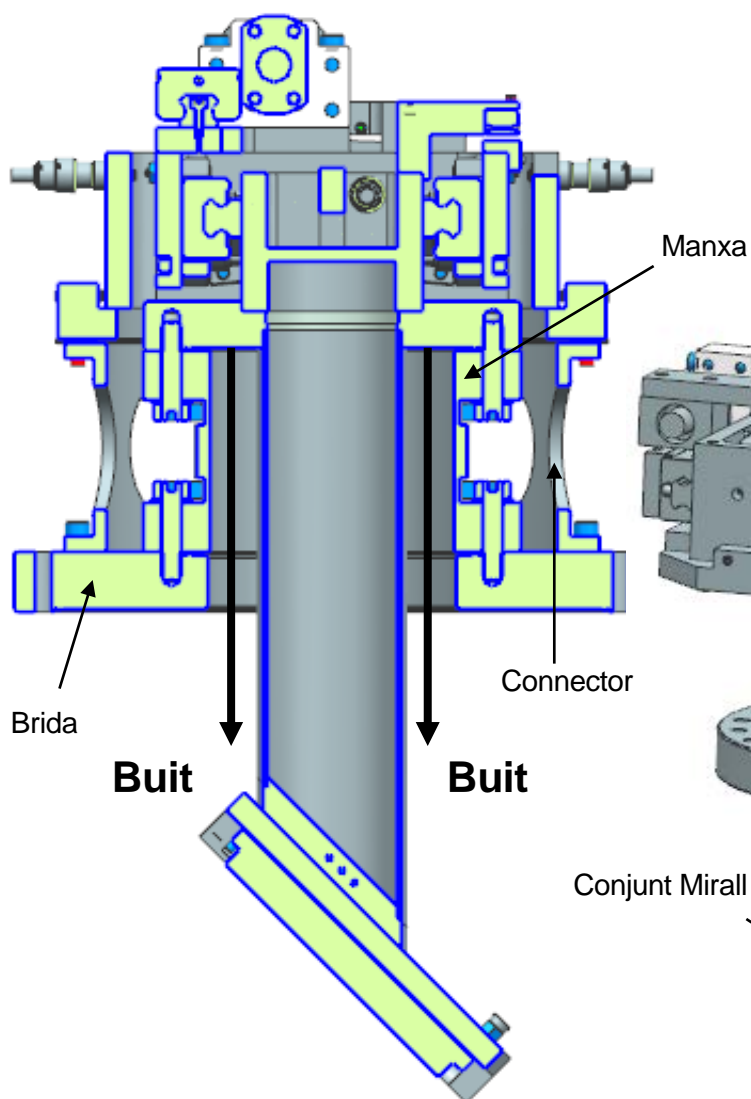


Figura 28. Secció conjunt final

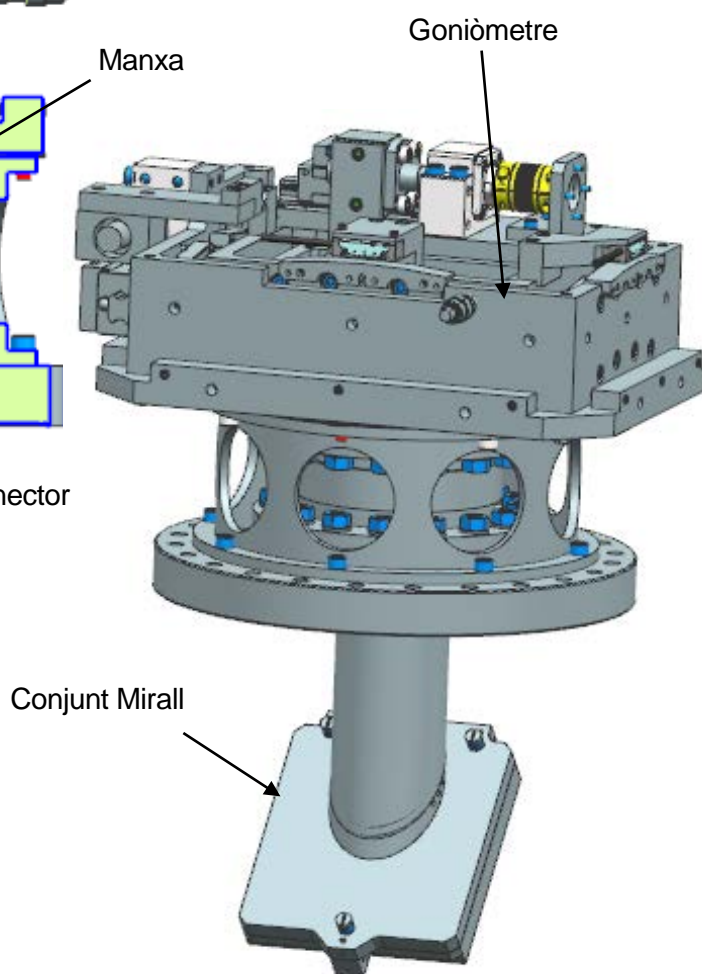


Figura 29. Secció conjunt final

8.1. Conjunt Mirall

Es pot dividir en tres parts: mirall, suport del mirall i braç de la brida (Figura 30 i 31)

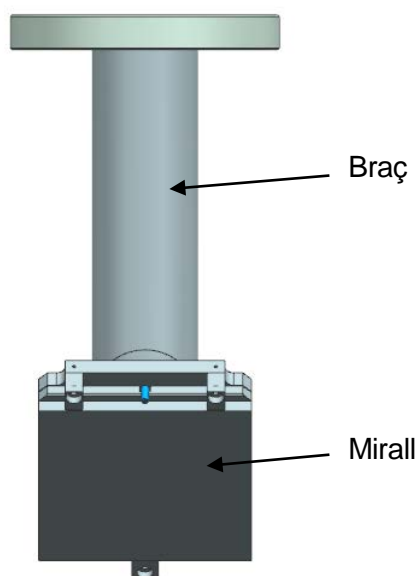


Figura 30. Conjunt mirall, vista frontal

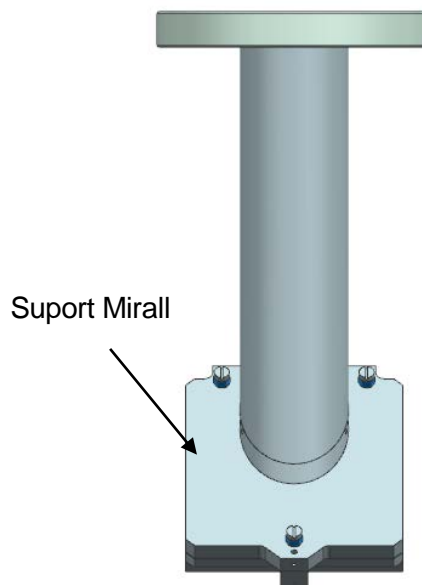


Figura 31. Conjunt mirall, vista posterior

8.1.1. Suport Mirall

Com que hi ha diferents miralls i alguns dels que són iguals van muntats diferent, això provoca que hi hagin diferents suports. En total hi han cinc tipus.

Tots ells han de tenir les mateixes característiques:

- Aliatge d'alumini 6063 com a material utilitzat, ja que és un requeriments de UHV (Ultra alt buit).
- La seva funció és mantenir el mirall en una posició concreta a través de tres punts de contacte, posicionador d'altra precisió rígida de bola de pas fi d'acer inoxidable M5 x 1 mm (marca Halder). Aquests tipus de components són molt utilitzats en alta precisió
- Placa base, serà la que tindrà contacte directa amb l'extrem del braç.
- Els miralls es fixen a través de tres punts de fixació (2 tipus de pinces), utilitzant cargols, tipus cap de xino.
- Les pinces tenen uns orificis d'evacuació. Requisit del UHV, s'ha de facilitar l'extracció d'aire a dins d'un sistema de buit
- Per tal de centrar el mirall respecte el suport d'aquest, es farà servir una petita ranura coincident, utilitzant un passador de 4 mm de diàmetre que passa pel mig de les dos peces (mirall i placa base)
- Es centra al braç mitjançant dos passadors més i es fixa amb dos cargols.
- Tots els suports estan en 45 ° respecte a la brida de suport, excepte el corresponent al mirall 4, que està a 180°.

En les següents imatges (Figura 32 fins la 36) es poden apreciar els components utilitzats per formar el conjunt del suport dels miralls. En aquest cas es mostra el corresponent al mirall 2, ja que tots tenen els mateixos components. En els plànols adjuntats en el projecte es poden veure els diferents tipus de suports.

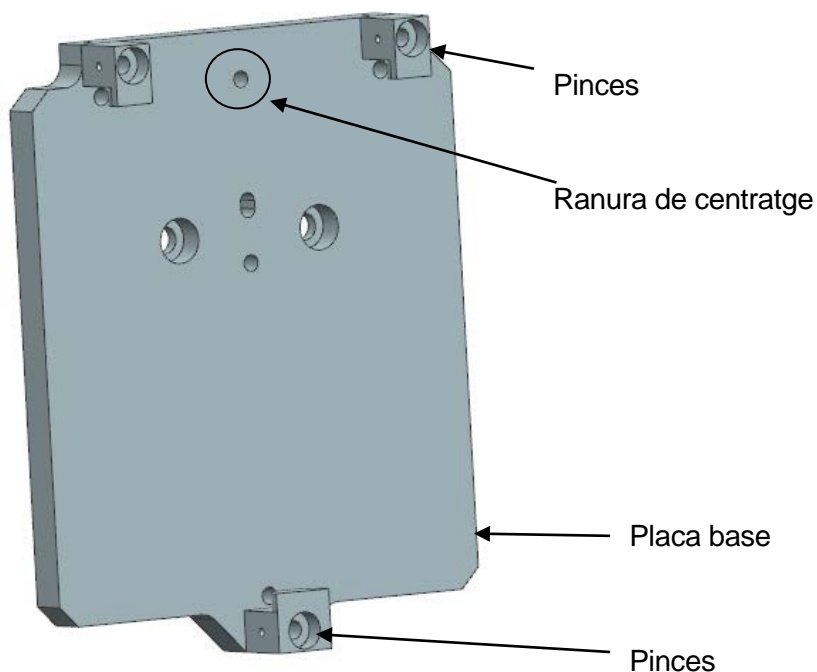


Figura 32. Conjunt suport mirall

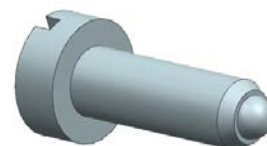


Figura 34. Posicionador



Figura 35. Passador

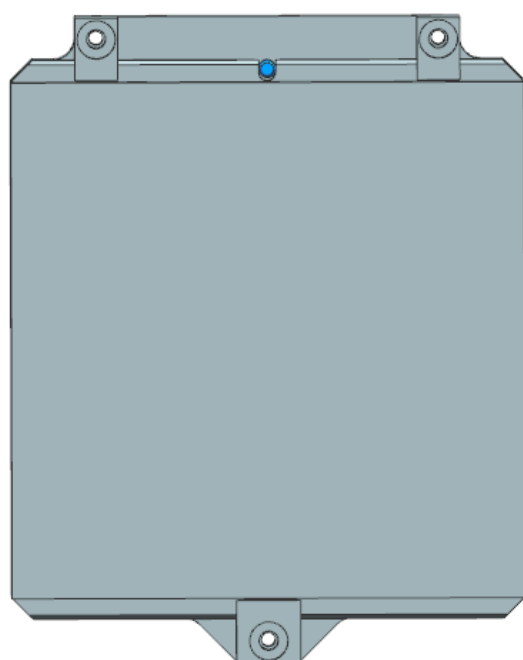


Figura 33. Conjunt suport mirall 2.
Vista frontal

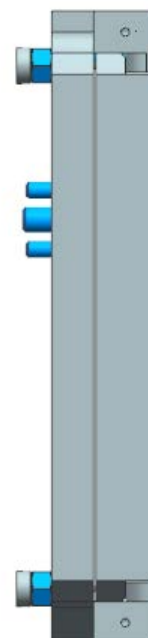


Figura 36. Conjunt suport mirall 2.
Vista lateral

8.1.2. Braç

En les següents imatges es poden apreciar els dos tipus de conjunt de braç diferents que hi ha (Figures 37 i 38). El corresponent als miralls 2, 3, 5, MBS1, 6, 7 i 8 que són iguals (45°) i el del mirall 4 que és l'únic diferent (180°).

Tots ells han de tindre les mateixes característiques:

- Acer inoxidable AISI 316L com a material utilitzat ja que és un requeriments de UHV.
- Transmet el moviment del goniòmetre cap al mirall gràcies a que aquest està connectat al goniòmetre a través de quatre forats roscats. Hi han buit forats realment, però només es necessiten quatre. Llavors, segons la posició desitjada del goniòmetre es faran servir uns o uns altres.
- Dos centradors de quatre mil·límetres de diàmetre per centrar els suports.
- Dos forats roscats no passants que serviran per collar els suports.
- Tres orificis, que seran d'evacuació ubicats en el taco d'acer inoxidable soldat al extrem del braç.

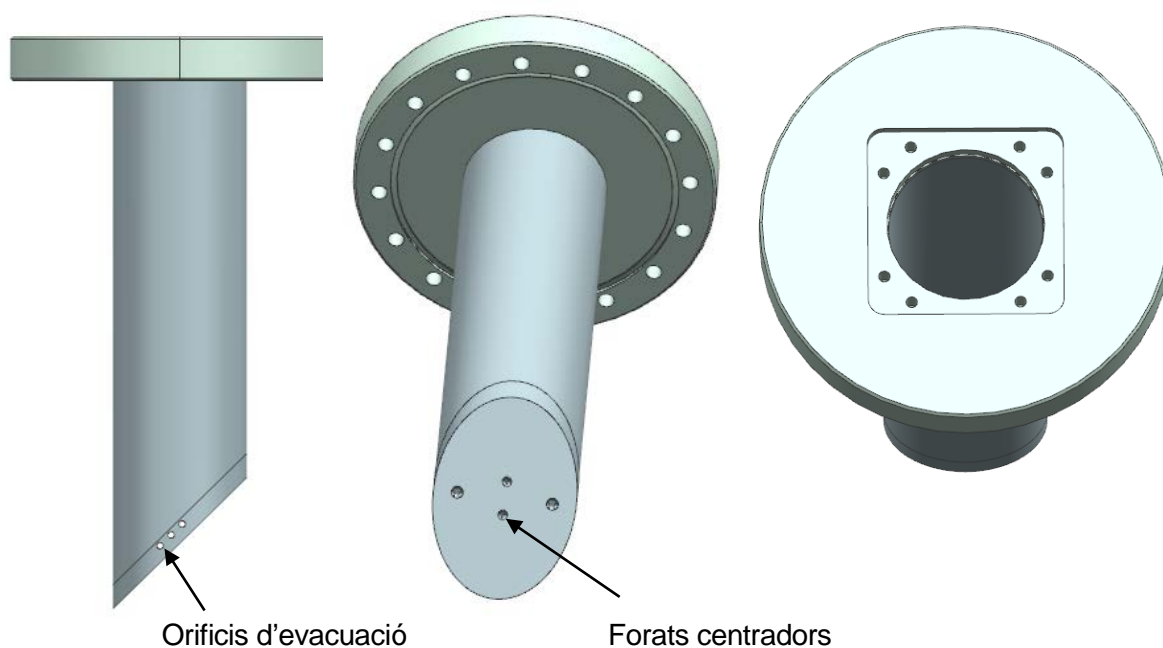


Figura 37. Conjunt braç corresponent a tots els miralls menys al 4

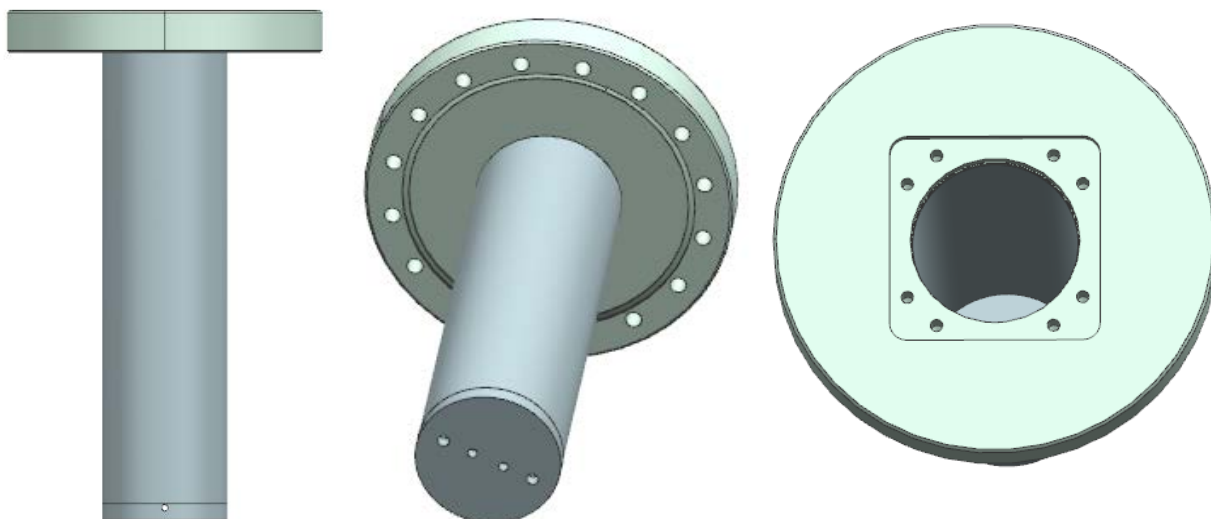


Figura 38. Conjunt braç corresponent al mirall 4

8.2. Manxa

La funció de la manxa (Figura 39 i 40) és delimitar la zona “fora de buit” amb la zona “en buit”. Per dins d’aquestes hi passa el braç de connexió intern, entre el goniòmetre i el suport del mirall. Es pot dir que serveix perquè el braç treballi sota condicions de buit

En els vuit casos diferents de conjunts, sempre apareix el mateix tipus de manxa, amb les mateixes dimensions i característiques. Que en aquest són:

- El material utilitzat serà el d’acer inoxidable (316L), ja que estarà en ultra alt buit.
- Hauran de ser capaces de moure’s en ± 3 mm de rang axial, ± 3 mm de rang radial i 2° de rang angular. Tots aquests moviments són necessaris per a que el braç no toqui amb la manxa i provocar dificultats mecàniques.

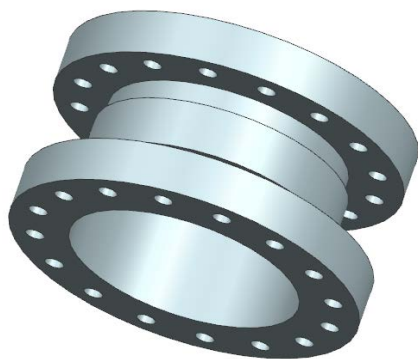


Figura 39. Manxa



Figura 40. Manxa normalitzada

8.3. Goniòmetre

La funció principal és la creació de dos tipus de rotacions angulars, denominats Roll i Pitch.

En funció de l'orientació del goniòmetre respecte al mirall, s'aconsegueix un moviment o un altre. Aquests s'urgeixen a través d'unes guies circulars i els seus carros corresponents, a continuació en l'apartat 8.3.2 s'explica detalladament.

Es divideix en tres parts: fixació goniòmetre, conjunt Roll i Pitch i muntatge de l'actuador

El goniòmetre apareix tal qual en els vuit casos diferents de conjunts. En les següents imatges es pot apreciar aquest en dos vistes diferents, frontal i posterior (Figura 41 i 42).

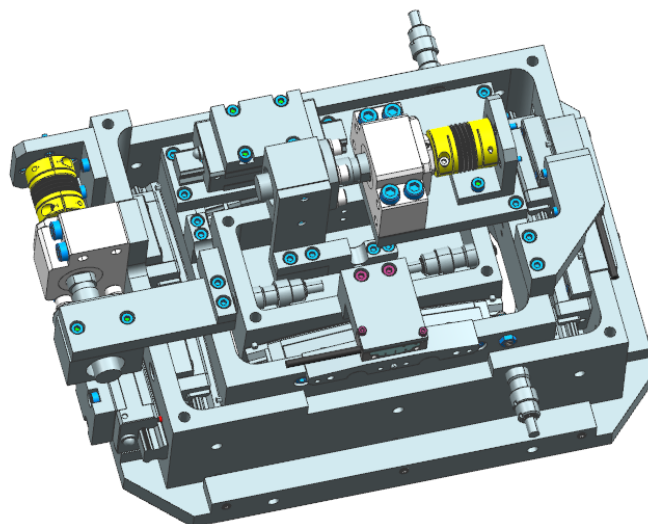


Figura 41. Goniòmetre, vista frontal

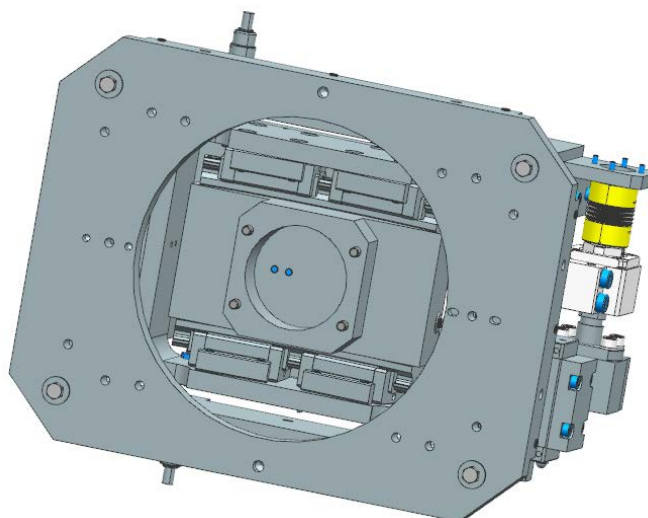


Figura 42. Goniòmetre, vista posterior

8.3.1. Fixació del goniòmetre

La seva funció és fixar el goniòmetre respecte la cambra de buit.

Està compost de diferents parts. Placa base i cos fixa, connectors i brida

La fixació del goniòmetre apareix tal qual en els vuit casos diferents de conjunts.

8.3.1.1. Placa base i cos fixa

La funció principal és fixar els dos conjunts responsables dels dos moviments angulars. En les següents imatges es pot apreciar la placa base, que serà la responsable de suportar el goniòmetre, i el cos fixa, que serà a on aniran instal·lats un accionador i quatre dels vuit carros necessaris (Figura 43 i 44). Tot seguit dos imatges més on es representen aquests dos components ja units entre si (Figura 45 i 46).

El material utilitzat és alumini 7075 T6, la qual cosa li proporciona un baix pes.

Cal remarcar que en els quatre vèrtex del cos fixa, tal i com es pot apreciar en la figura 19, tenen quatre forats. Aquests seran obligatoris per a la incorporació d'uns components que serviran per a la metrologia.

Se li instal·laran un parell de sensors de finals de carrera (que més endavant s'explicarà detalladament en l'apartat 8.3.2. i 8.3.2.2, es poden apreciar en la figura 45 i 46).

Se li incorpora un sistema de posicionament (XYZ), basat en empenyedors per tal de posicionar el goniòmetre respecte a la càmera de buit amb una resolució de 0,1 mm de gir del cargol per 12° (Figura 47)

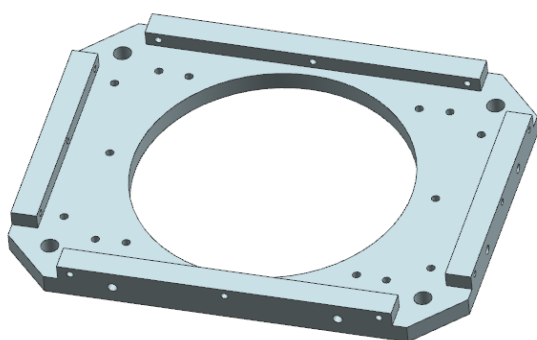


Figura 43. Placa base

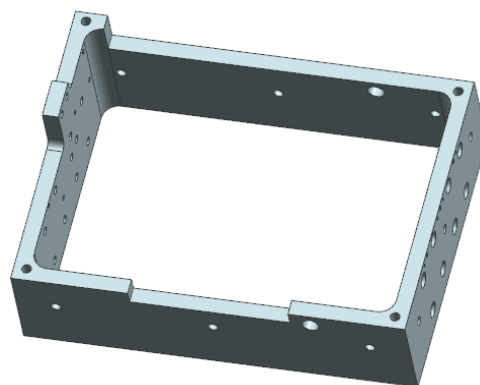


Figura 44. Cos fixa

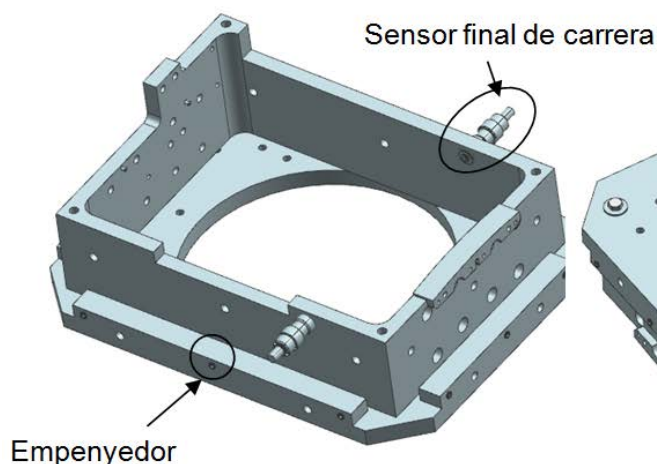


Figura 45. Conjunt placa base i cos fixa.
Vista frontal.

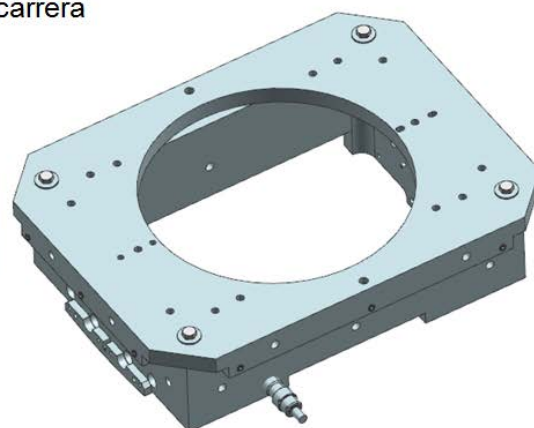


Figura 46. Conjunt placa base i cos fixa.
Vista posterior

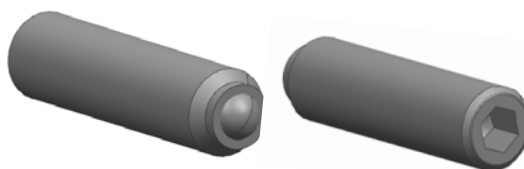


Figura 47. Empenyedors

8.3.1.1.1 Connector

La funció d'aquest consisteix en resguardar els components que té al interior i connectar el goniòmetre a la brida (Figura 48)

Apart dels cargols DIN 912 per a la seva fixació, es fa servir un sistema de centratge que consisteix en la utilització de dos passadors de diàmetre 6mm ubicats en la placa fixa esmentada anteriorment.

Té la peculiaritat de tindre orificis en el cos per tal de poder observar l'estat de la manxa d'aquesta manera observar possibles desperfectes mecànics que puguin originar uns de pitjors.

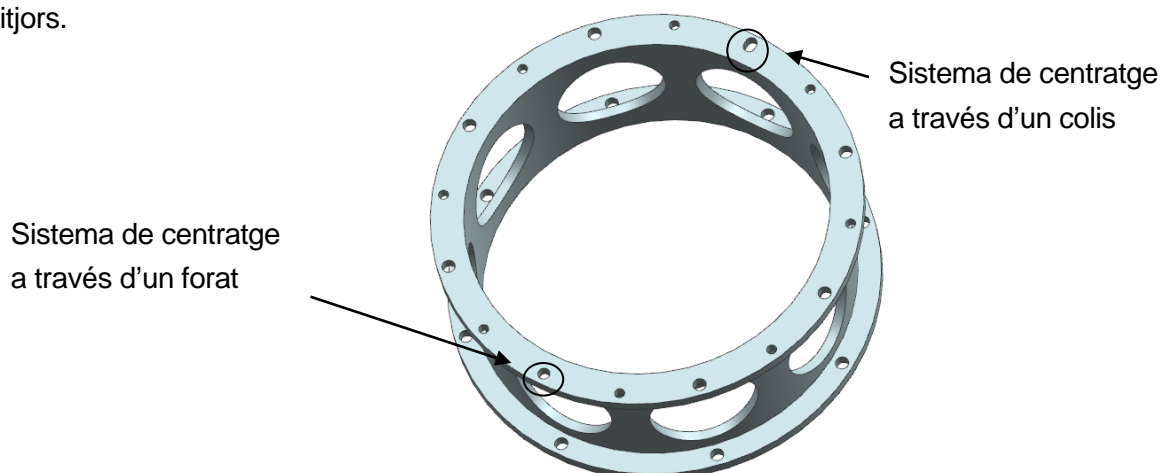


Figura 48. Connector

8.3.1.1.2 Ajustador

Serveix per acabar d'ajustar el goniòmetre, un cop posat el connector. Està fet d'una làmina d'acer inoxidable pla, i hi ha de diferents gruixos 0.5, 0.2 i 0.1 mm. La idea és anar posant un en un fins que no hi pugui entrar cap més, de més a menys gruix.

En les següents imatges es pot apreciar l'ajustador per separat (Figura 49) i aquest un cop instal·lat ubicat entre el connector i el goniòmetre (Figura 50).

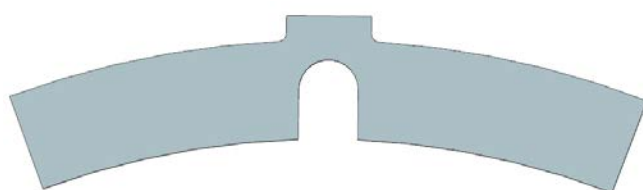


Figura 49 .Ajustador

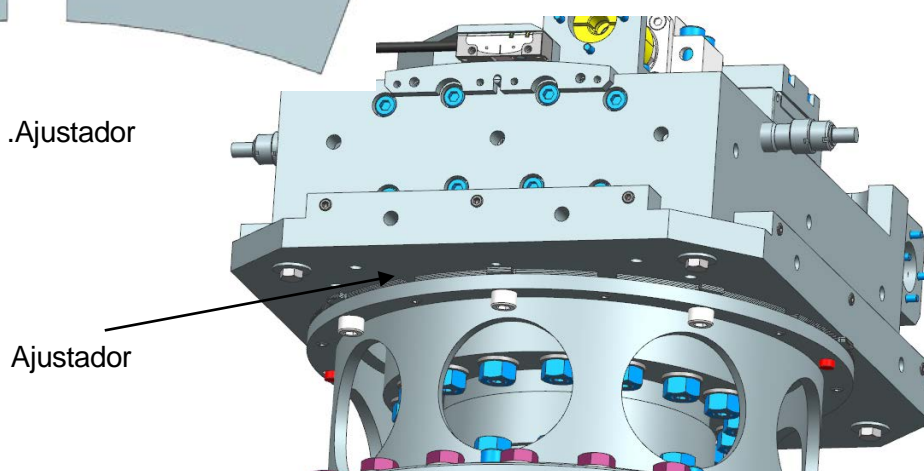


Figura 50. Vista lateral del conjunt

8.3.1.2. Brida

Consisteix en una brida normalitzada (CF200) feta d'acer inoxidable 304L de 254 mm diàmetre exterior que connecta tot el sistema a la cambra de buit (Figura 51). Ha de ser de les mateixes dimensions que la brida de la cambra per tal d'assegurar un bon assemblatge. En ella també va fixada el connector esmentat anteriorment i la manxa.

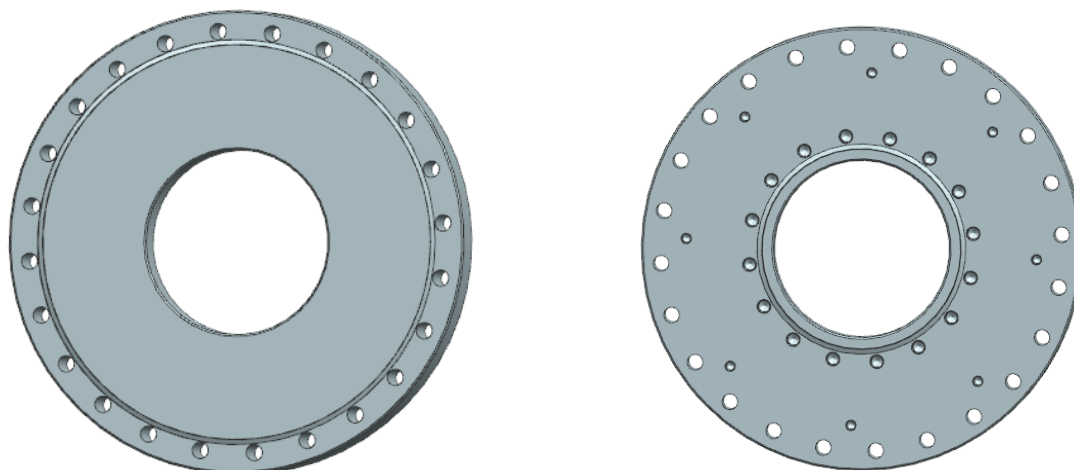


Figura 51. Brida. Vista frontal i posterior

8.3.2. Conjunt Roll i Pitch

Consisteix en la creació de dos moviments angulars (roll i pitch) mitjançant un sistema de quatre guies circulars i buit carros, dos per cada guia. Aquests moviments estan accionats per un parell d'actuadors lineals, un per cada conjunt (Figura 52)

Estan classificats en dos tipus, segons el moviment angular (roll i pitch), però realment són el mateix (Figura 53 i 54). Això és degut a que segons com estigui instal·lat el goniòmetre correspondrà a un moviment o un altre. Estan classificats d'aquesta manera per a una explicació més senzilla i llavors facilitar la comprensió dels dos conjunts. Tots ells han de tenir les mateixes característiques:

- Tal i com s'ha descrit anteriorment en les especificacions, el rang de moviment angular ha de ser de $\pm 1,5^\circ$.
- Els quatre carros estan fixats en el cos exterior de cada un d'ells i són les dos guies les que es mouen, creant així el moviment angular.
- Té la peculiaritat que les guies circulars són les mateixes pels dos conjunts (Pitch i Roll) i això fa que puguin funcionar d'igual manera en tots dos casos. En el següent apartat es descriu de forma detallada.
- La transmissió de moviment ve donada per un actuador lineal. Aquest està connectat al conjunt a través d'una articulació per flexió (fleix) fet d'acer de motlles (DIN 46Si7), d'aquesta manera es passa d'un moviment lineal a un de circular. L'actuador i el fleix seran el mateixos en tots dos casos, fent d'aquesta manera que sigui un sistema senzill, facilitant així el muntatge.
- Per tal de tenir una lectura de posició angular, element necessari per saber en tot moment la posició de les guies circulars, s'utilitza un Encoder tònic T100030A

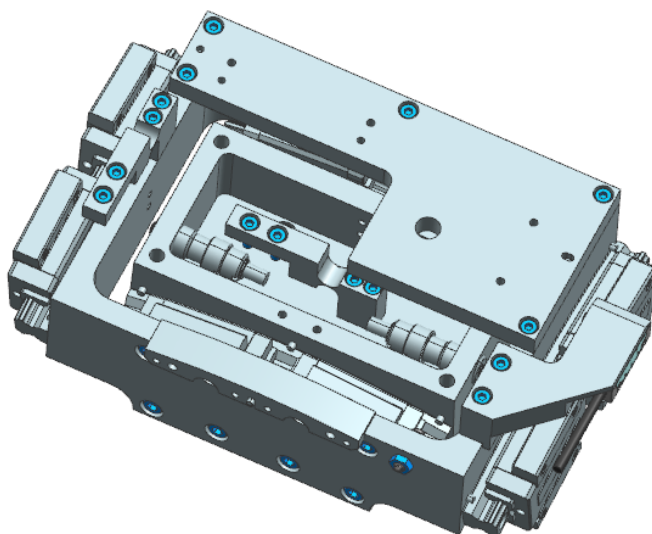


Figura 52. Conjunt roll i pitch simplificat

8.3.2.1. Conjunt Roll

Aquest conjunt anirà ubicat dins el cos fixa descrit en l'apartat 8.3.1.1, on es pot apreciar en la figura 52. El punt d'unió entre aquest dos seran els carros del conjunt roll.

Tal i com s'ha esmentat anteriorment, les dos guies circulars són les que es mouen i per lo tant van fixades al cos per tal de crear el moviment angular de tot el conjunt. Aquest moviment s'origina gràcies a un actuador de moviment lineal, que transmet aquest desplaçament lineal cap al cos gràcies a un fleix, units entre si a través d'un element d'unió. A continuació aquest moviment angular serà transmès al mateix temps cap al conjunt pitch, ja que els carros del conjunt pitch van fixats en el cos del conjunt descrit en aquest punt, movent-se d'aquesta manera solidàriament.

Per tal de saber en tot moment la situació del recorregut de les guies circulars, se li instal·larà un encoder model Tonic T100030A, just al mig de la guia.

Tal i com s'ha comentat en l'apartat 8.3.1.1 s'instal·larà un parell de sensors de final de carrera ubicats en la placa base (Figura 45 i 46). En aquest cas, els finals dels recorreguts els marcaran dos empenyedor (Figura 47), instal·lats un a cada extrem del cos del conjunt roll, limitant d'aquesta manera el desplaçament angular quan aquest pressioni en el sensor.

A continuació es pot apreciar tot el esmentat anteriorment i els diferents components més característics d'aquest conjunt en la següent imatge (Figura 53).

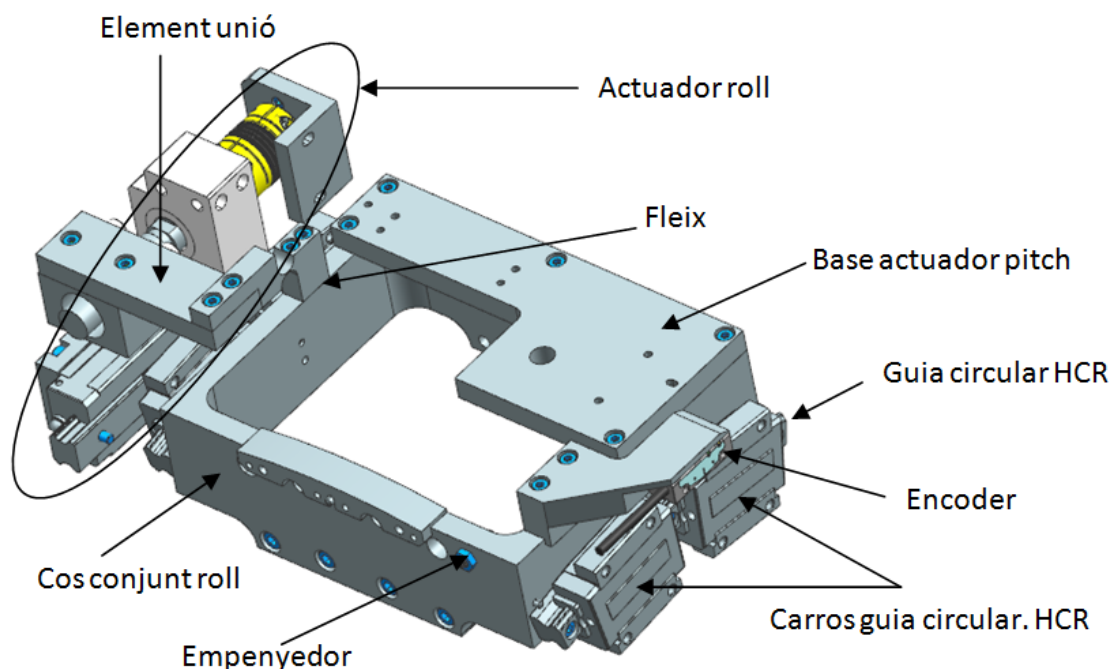


Figura 53. Conjunt Roll

8.3.2.2. Conjunt Pitch

Aquest conjunt anirà ubicat dins del conjunt roll, on es pot apreciar en la figura 52. El punt d'unió entre aquest dos seran els carros del conjunt pitch.

El principi funcional d'aquest conjunt és exactament igual que el descrit en el roll. Dos guies circulars fixades en el propi cos del conjunt, aquestes són les que es mouen creant el moviment angular, quatre carros fixats en el cos exterior, en aquest cas el cos del conjunt roll. Un actuator per originar el moviment que en aquest cas s'ubicarà en una base fixada en el conjunt roll, d'aquesta manera s'aconsegueix fer un sistema més compacte (Figura 53), Un fleix per transmetre el desplaçament lineal cap al cos del conjunt pitch, i un element d'unió per unir el fleix amb al actuator.

En aquets cas també se li instal·la un encoder del mateix model que el esmentat anteriorment just al mig de la guia circular.

Igual que en el conjunt roll s'instal·larà dos sensors de finals de carrera, del mateix tipus EGM12x1, ubicats en aquest cas en el propi cos, un a cada extrem. A diferència del cas anterior, el final del recorregut no el marcaran dos empenyadors, sinó que en aquest cas, ho farà el propi cos del conjunt pitch quan aquest es mogui de forma angular i es pressioni ell mateix contra la base del conjunt roll.

Cal remarcar que en els quatre vèrtex del cos del conjunt , hauran d'haver-hi quatre forats per a la metrologia, el mateix cas que en el cos fixa descrit en el punt 8.3.1.1.

A continuació es pot apreciar tot lo esmentat anteriorment i els diferents components més característics d'aquest conjunt en la següent imatge (Figura 54).

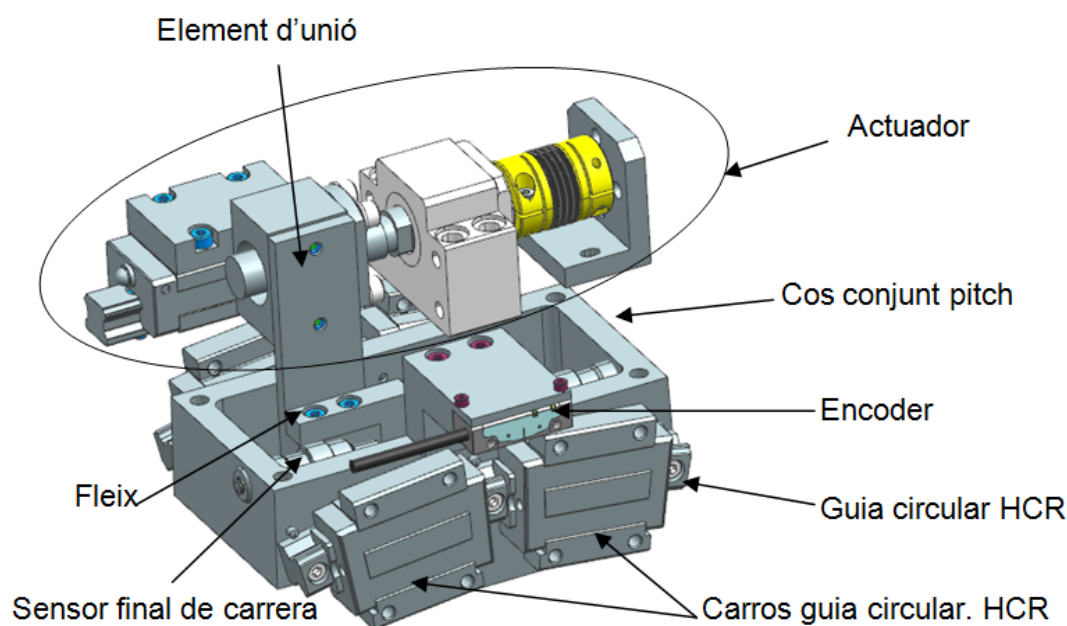


Figura 54. Conjunt Pitch

En la figura 55 es pot veure el fleix fet d'acer de molles (tipus DIN 46Si7) que anirà instal·lat en els dos conjunts. Aquest tal i com s'ha dit és l'encarregat de transmetre el desplaçament lineal provinent de l'actuador cap al cos del conjunt pitch i roll respectivament, per a un posterior moviment angular. Tal i com s'aprecia, té quatre forats que serveixen d'unió, dos a l'esquerre per assemblar-se amb el component d'unió i els altres dos de la dreta per unir-se en el cos pitch o roll.

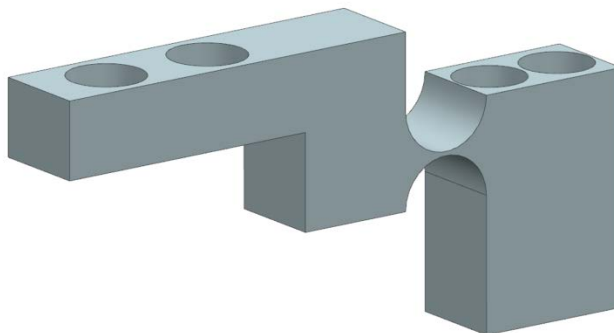


Figura 55. Fleix del conjunt pitch i roll

En la següent imatge, extreta del catàleg de l'empresa THK, es pot apreciar la guia circular i carro dels dos conjunts roll i pitch (Figura 56).

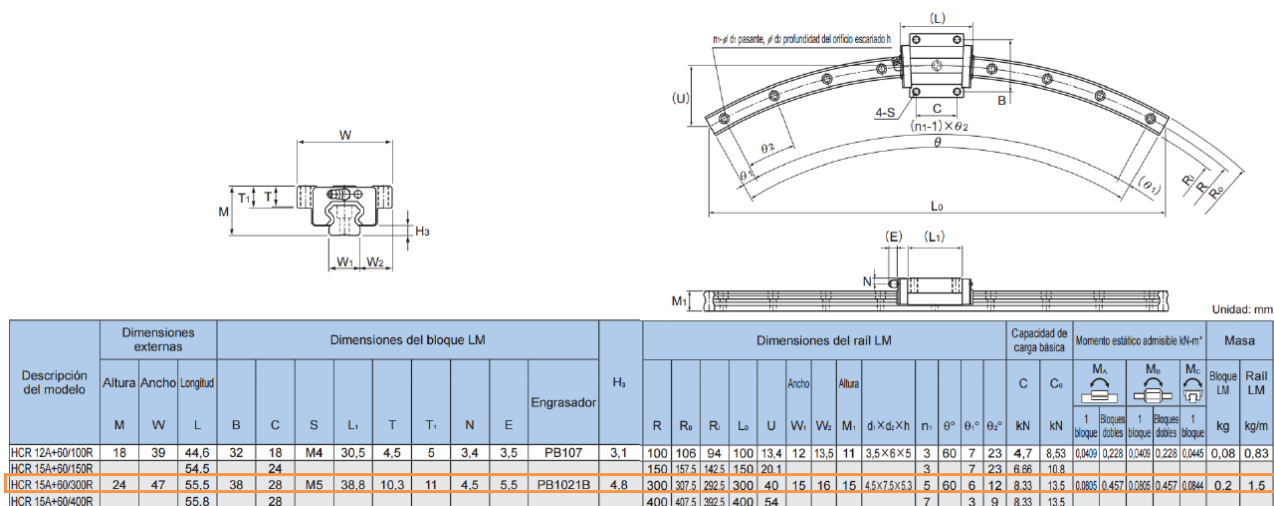


Figura 56. Carro i guia circular HCR15A2UUC1+26/300RH-II. Catàleg THK [1]

8.3.3. Actuator

Consisteix en la transmissió d'un moviment lineal que ve donat per un motor, fuset i guia lineal, entre d'altres components (Figura 57). A continuació s'explica més detalladament

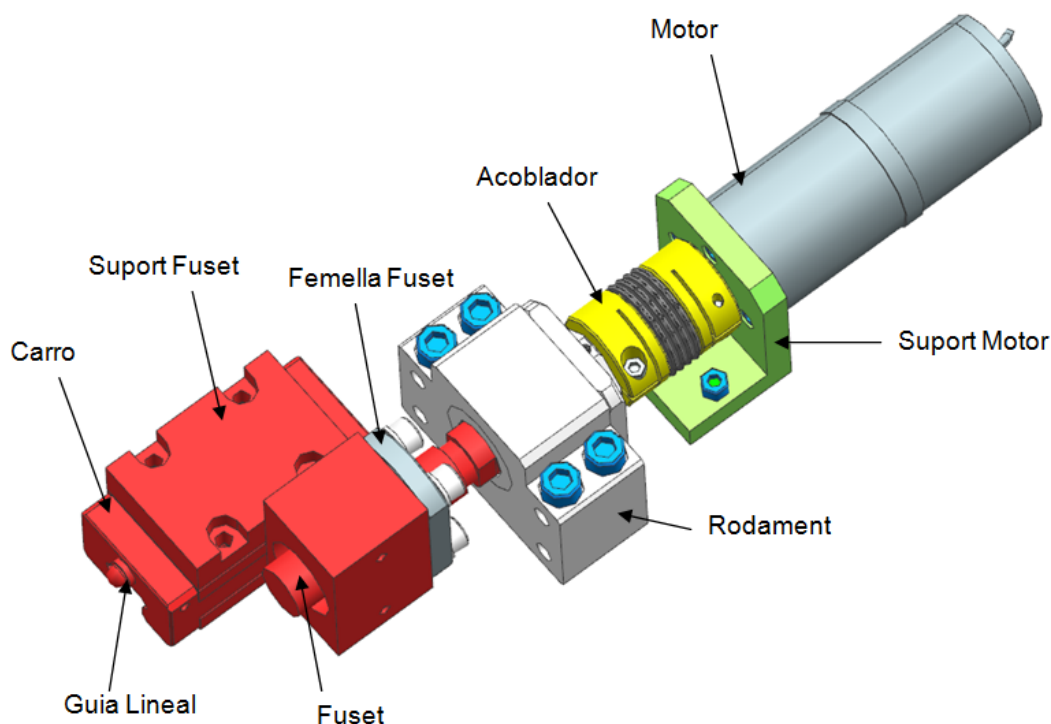


Figura 57. Accionador

8.3.3.1. Guia Lineal

En la següent imatge, extreta del catàleg de l'empresa THK, es pot apreciar la guia lineal i carro dels dos actuadors roll i pitch (Figura 58).

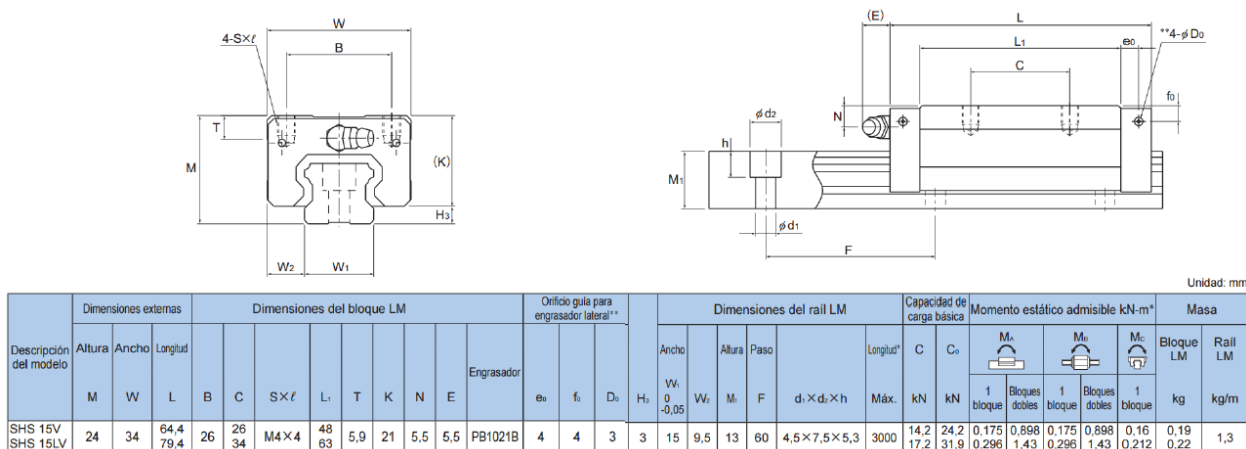


Figura 58. Carro i guia lineal SHS15V1QZSSC1+90L. Catàleg THK [2]

8.3.3.2. Transmissió

A diferència de les guies circulars, la lineal es quedarà fixa i serà el carro el que es desplaçarà. El rang lineal necessari d'aquesta guia per tal d'aconseguir el rang angular de $\pm 1.5^\circ$ respecte el punt mig del mirall serà de ± 7 mm (aquest càlcul es troba en l'apartat 2.1 dels annexes).

Els elements que formen la transmissió són:

- Fuset BNK1402-3RRG0 cargol i femella fuset 110LC3 marca THK (Figura 59)
- Acoblador Ruland MBC, per assemblejar el motor amb el fuset.
- Rodament BK12 de la marca THK (Figura 60
- Suport del fuset
- Lector de posició angular encoder tònic T100030A. Aquest model és el que garanteix les especificacions de resolució i precisió
- Interpolador Ti0040A01A com a complement del encoder
- Final de carrera EGM12x1
- Motor ZSS32.200 i reductor 1,2 GPL32 de la marca phytron (Figura 61 i 62)

Tant el interpolador, encoder i el final de carrera no estaran físicament acoblats en el conjunt del actuator. Però si que estaran connectats mitjançant les connexions corresponents.

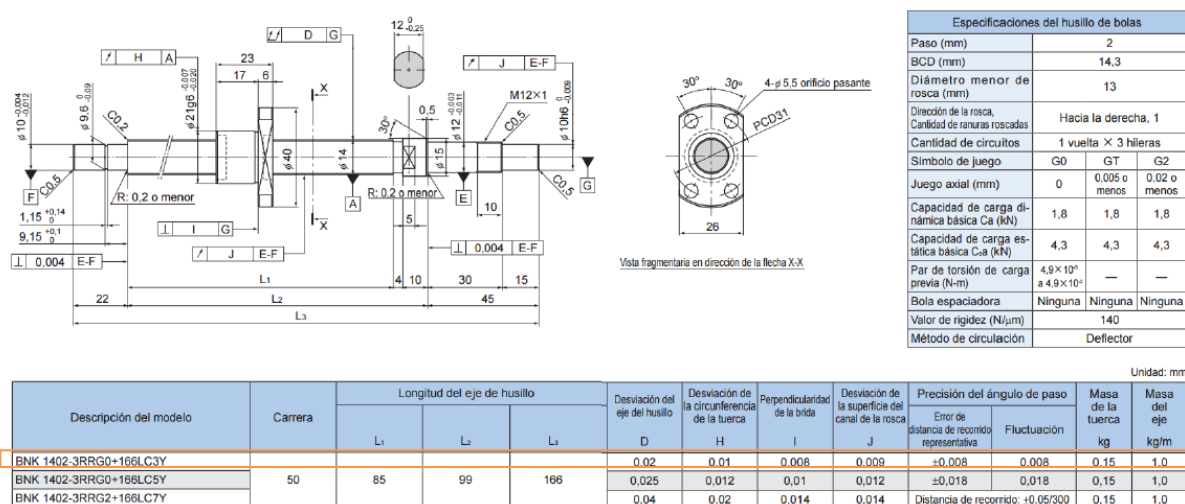


Figura 59. Fuset i femella fuset BNK1402-3RRG0+110LC3. Catàleg THK [3]

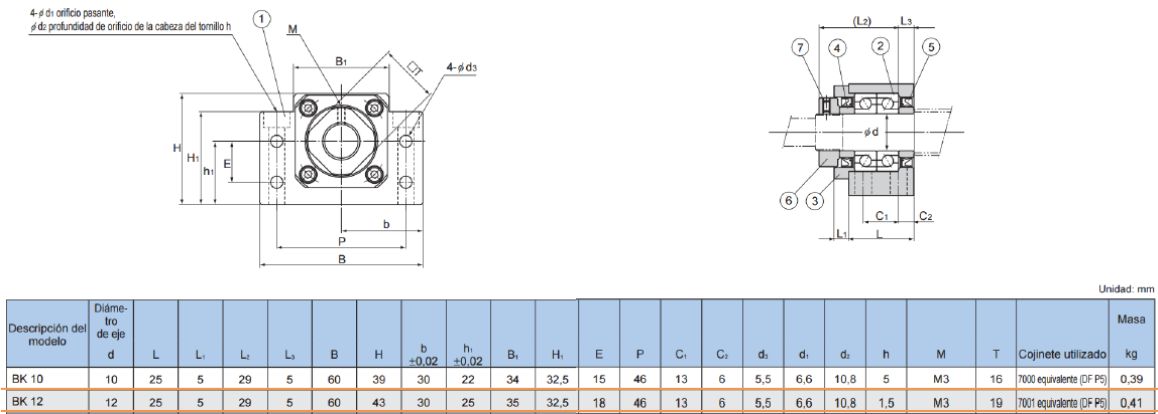


Figura 60. Rodament BK12. Catàleg THK [4]

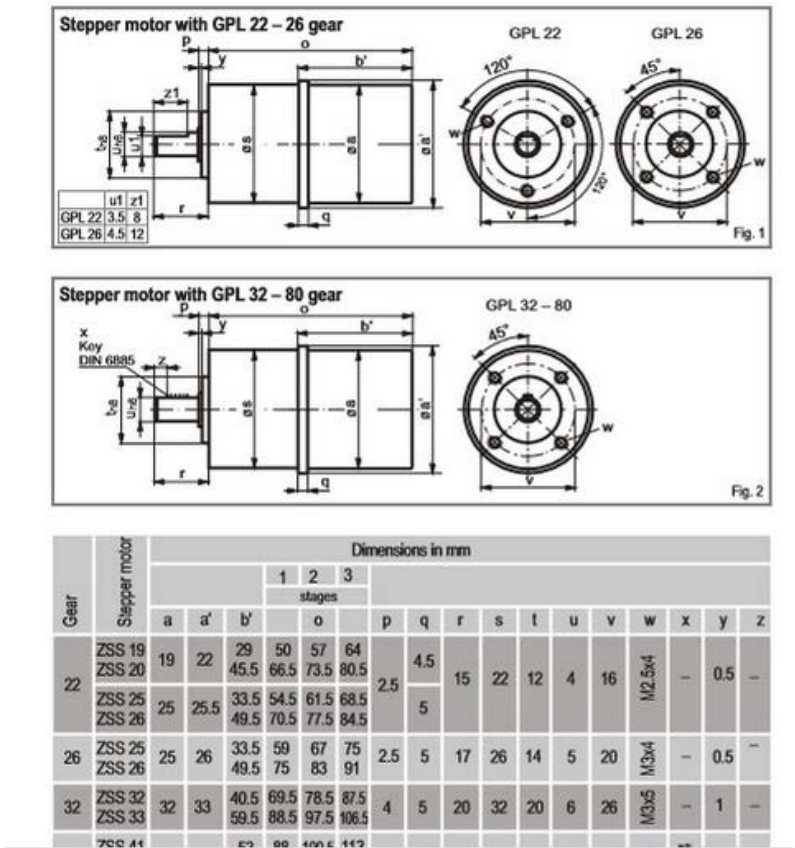


Figura 61. Reductor 1,2 GPL32. Catàleg Phytron [5]

| Size | Type | 2) | | | | | 3) 4) | | Holding torque | Detent torque | Rotor mass inertia | Permissible bearing load | | Weight | Electrical connection | | | | |
|------|----------|-----------------|----|----|----|-----|-------------------------------|-----|----------------|---------------|--------------------|--------------------------|------------------------------------|--------|-----------------------|--------|----|----------------|------------------|
| | | Number of steps | | | | | Standard windings | mNm | | | | mNm | 10 ⁻⁴ kg m ² | | axial | radial | kg | Free wire ends | Protective cover |
| | | 8 | 24 | 56 | 72 | 200 | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | ZSS 19 | □ | | | ■ | ■ | 0.3 / 0.6 / 1.2 | 3.8 | 0.9 | 0.0009 | 3 | 3 | 0.04 | ■ | | | | | |
| | ZSS 20 | | | | | ■ | 0.3 / 0.6 / 1.2 | 5 | 1 | 0.0016 | 3 | 3 | 0.065 | ■ | | | | | |
| 25 | ZSS 25 | □ | □ | | ■ | ■ | 0.3 / 0.6 / 1.2 | 13 | 2 | 0.0025 | 5 | 5 | 0.07 | ■ | | | | | |
| | ZSS 26 | | | | | ■ | 0.3 / 0.6 / 1.2 | 25 | 2.2 | 0.006 | 5 | 5 | 0.11 | ■ | | | | | |
| 32 | ZSS 32 | | | | ■ | ■ | 0.6 / 1.2 / 2.5 | 50 | 3 | 0.01 | 5 | 15 | 0.15 | ■ | | | | | |
| | ZSS 33 | | | | □ | ■ | 0.6 / 1.2 / 2.5 | 75 | 3.3 | 0.018 | 5 | 15 | 0.23 | ■ | | | | | |
| 42 | ZSS 41 | | | | | ■ | 0.6 / 1.2 / 2.5 | 100 | 4 | 0.025 | 20 | 40 | 0.26 | □ | ■ | | | | |
| | ZSS 41/1 | | | | | ■ | 0.6 / 1.2 / 2.5 | 100 | 4 | 0.025 | 20 | 40 | 0.26 | □ | ■ | | | | |
| | ZSS 42 | | | | □ | ■ | 0.6 / 1.2 / 2.5 | 140 | 5 | 0.045 | 20 | 40 | 0.32 | □ | ■ | | | | |
| | ZSS 42/1 | | | | □ | ■ | 0.6 / 1.2 / 2.5 | 140 | 5 | 0.045 | 20 | 40 | 0.32 | □ | ■ | | | | |
| | ZSS 43 | | | | | ■ | 0.6 / 1.2 / 2.5 | 260 | 7 | 0.077 | 20 | 40 | 0.47 | □ | ■ | | | | |
| | ZSS 43/1 | | | | | ■ | 0.6 / 1.2 / 2.5 | 260 | 7 | 0.077 | 20 | 40 | 0.47 | □ | ■ | | | | |
| 52 | ZSS 52 | | | □ | ■ | ■ | 1.2 / 2.5 | 450 | 13 | 0.15 | 25 | 70 | 0.65 | □ | ■ | | | | |
| 56 | ZSS 56 | | | | | ■ | 1.2 / 2.5 | 500 | 30 | 0.17 | 40 | 80 | 0.7 | □ | ■ | | | | |
| | ZSS 57 | | | | | ■ | 1.2 / 2.5 | 700 | 50 | 0.24 | 40 | 80 | 0.9 | □ | ■ | | | | |

2) ZSS 41/1, 42/1, 43/1, 52, 56, 57:
Terminal plate with earthing screw

3) Bipolar mode
4) **red = popular types**

■ standard □ optional

Figura 62. Motor ZSS32.200. Catàleg Phytron [6]

8.3.3.2.1 Verificació Components Actuator

Els components esmentats en aquest apartat de transmissió han de ser verificats per a què siguin aptes per el sistema i que a més puguin assolir els objectius dels paràmetres de moviment (resolució, precisió i repetibilitat) esmentats en l'apartat d'especificacions (Apartat 4).

Per ampliar més informació sobre com s'han realitzat aquests càlculs que venen a continuació, ja que només s'exposen els més característics de cada un d'ells, es pot buscar a l'annex 2.

A continuació (Figura 63) es pot apreciar de forma visual el significat de resolució, precisió i repetibilitat:

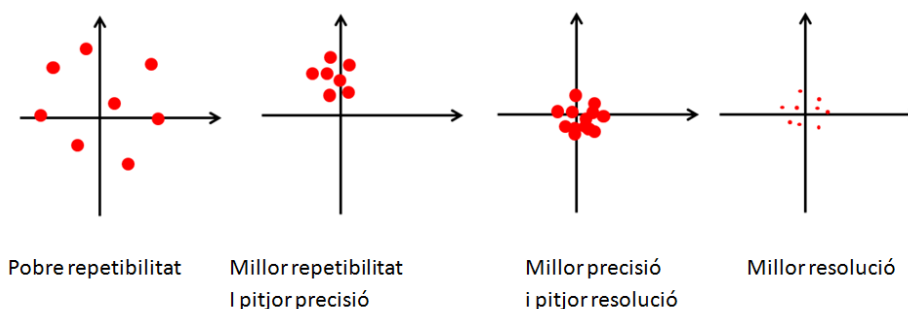


Figura 63. Definició resolució, precisió i repetibilitat

8.3.3.2.1.1 Motor

Per verificar que el motor és compatible a la freqüència utilitzada en el Sincrotró ALBA primer es troba el parell motor necessari per moure el sistema i a continuació es compara amb el teòric màxim que pot arribar a suportar el motor segons el fabricant, en aquest cas Phytron.

$$T_{\text{motor}} = \frac{T_{Fuset+Rodament}}{i \cdot \eta_s \cdot \eta_R} = \frac{0.036}{50 \cdot 0.924 \cdot 0.9} = 7,8 \cdot 10^{-4} \text{ Nm}$$

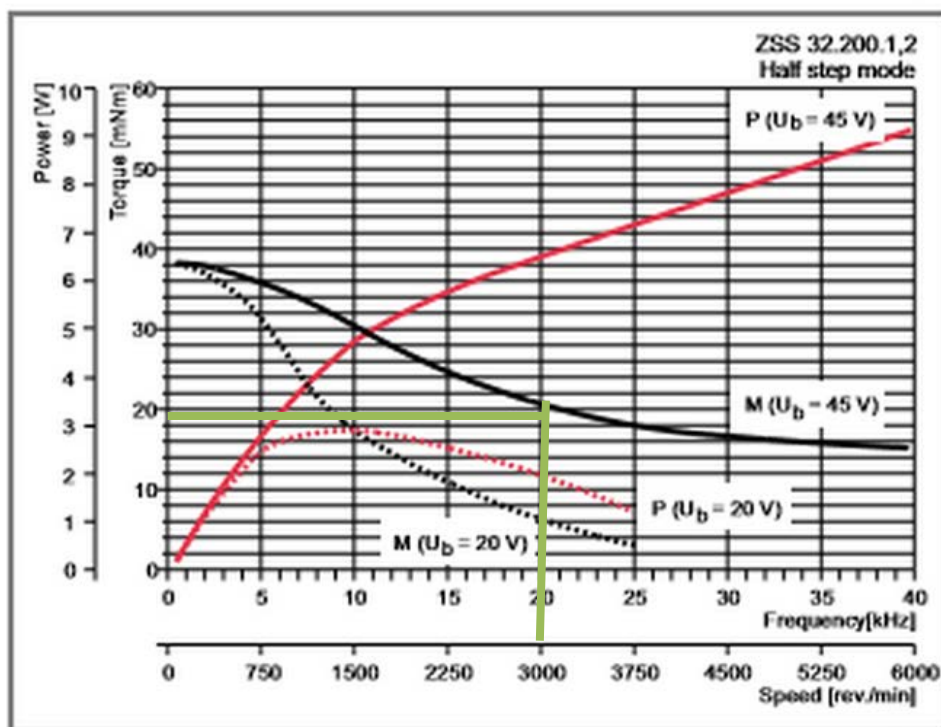


Figura 64. Gràfic parell motor ZSS 32.2. Catàleg Phytron [7]

El parell màxim capaç de fer el motor per a moure el mecanisme a la freqüència utilitzada en el Sincrotró ALBA, que és de 3000 Hz, no supera els 20 mNm tal i com s'indica en la gràfica anterior (Figura 64). Per tant el parell del motor a utilitzar, que hauria de fer un parell motor de $7,8 \cdot 10^{-4}$ Nm és totalment compatible, ja que està per sota dels 0,02 Nm.

I fent una simple operació es pot veure que el factor de seguretat és molt elevat, més concretament, de 25:

$$FS = \frac{T_{3000 \text{ Hz}}}{T_{\text{motor}}} = \frac{20}{0.78} = 25$$

8.3.3.2.1.2 Reductor

Per decidir que el reductor és l'adequat per a aquest sistema es considera com a metodologia correcta la de cercar el factor de seguretat de la reversibilitat del sistema, actuator. Per trobar aquest factor es necessita el parell màxim del motor-reductor i del fuset quan el motor està desconnectat:

Parell màxim del motor-reductor quan el motor està desconnectat:

$$T_{\text{reductor_parat}} = T_{\text{desconnectat}} \cdot i \cdot \eta_R = 0,003 \cdot 50 \cdot 0,9 = \mathbf{0,135Nm}$$

El parell màxim generat pel fuset a través del pes del sistema quan aquest està desconnectat:

$$T_{\text{generat}} = \frac{F \cdot P_h \cdot \eta_{eff}}{2\pi} = \frac{88,3 \cdot 0,002 \cdot 1}{2\pi} = \mathbf{0,028Nm}$$

Es considera $\eta_{eff} = 1$ ja que seria el cas més conservador, o sigui, que el sistema és totalment reversible.

Factor de seguretat de la reversibilitat del sistema, actuator:

$$F_s = \frac{T_{\text{reductor_parat}}}{T_{\text{generat}}} = \frac{0,135}{0,028} = \mathbf{4,8}$$

Pels resultats obtinguts es pot dir que no hi ha perill de reversibilitat del sistema, ja que el factor de seguretat és correcte.

8.3.3.2.1.3 Resolució

Es refereix al desplaçament angular teòric respecte el pas de motor, en aquest cas d'1,8°

$$\text{Resolució Lineal} = \frac{\alpha_{pas} \cdot P_h}{360 \cdot i} = \frac{1,8^\circ \cdot 2mm}{360 \cdot 50} = 2 \cdot 10^{-4} mm / pas$$

Un cop es té la resolució lineal es calcula l'angular utilitzant el mateix mètode que en l'apartat del recorregut de l'actuator ([Annex 2.1](#))

$$\text{Arc} = \alpha \cdot R \rightarrow \alpha = \mathbf{6,67 \cdot 10^{-4} mrad / pas = Resolució Angular}$$

8.3.3.2.1.4 Precisió

La precisió ve donada per l'error de distància del recorregut longitudinal del fuset en aquest cas de 8 µm, segons el fabricant. A continuació s'ha de veure a quin angle afecta aquest error, utilitzant el mateix mètode que en el càlcul del recorregut de l'actuador

$$\text{Arc} = \alpha \cdot R \rightarrow \alpha = \mathbf{0,027\text{mrad} = \text{Precisió Angular}}$$

8.3.3.2.1.5 Repetibilitat

Suposant que no hi hagués encoder, la repetibilitat vindria donada per l'error de posició de l'actuador (fuset), degut al joc de la reductora. D'aquesta manera s'obtingria el cas més conservador ja que no hi ha cap element que faciliti la informació de posició. Considerant aquest cas, la repetibilitat es calcula per als dos reductors possibles de 35' i 10', d'aquesta manera es pot observar el que pot anar millor per a aquest sistema.

Un cop es té la repetibilitat lineal, es calcula l'angular utilitzant el mateix mètode que en el càlcul del recorregut de l'actuador ([Annex 2.1](#))

$$\text{Repetibilitat Lineal } (\beta=35) = \frac{\beta \cdot P_h}{360 \cdot 60} = \frac{35 \text{ min} \cdot 2\text{mm}}{360 \cdot 60 \text{ min}} = 0,00324\text{mm}$$

$$\text{Arc} = \alpha \cdot R \rightarrow \alpha = 10,8\mu\text{rad} = \text{Repetibilitat Angular}$$

$$\text{Repetibilitat Lineal } (\beta=10) = \frac{\beta \cdot P_h}{360 \cdot 60} = \frac{10 \text{ min} \cdot 2\text{mm}}{360 \cdot 60 \text{ min}} = \mathbf{9,26 \cdot 10^{-4} \text{ mm} \rightarrow}$$

$$\text{Arc} = \alpha \cdot R \rightarrow \alpha = \mathbf{3,08\mu\text{rad} = \text{Repetibilitat Angular}}$$

En els dos casos possibles, la repetibilitat és menor a la demanada a les especificacions inicials, per lo tant són acceptables totes dues, ja que a sobre es considera que no hi ha encoder (cas més restrictiu). A priori el més interessant a escollir seria el de 30', ja que és el més econòmic, però en aquest cas s'ha escollit el de 10' perquè en les línies veïnes del Sincrotró ALBA és més comú trobar aquest tipus de reductors. Això significa que hi ha més recanvis a l'abast.

Observant els resultats obtinguts, es pot afirmar que tots els elements que formen part de l'actuador són totalment aptes i que a més a més superen amb escreix els paràmetres de moviment (resolució, precisió i repetibilitat) de les especificacions.

A continuació (Taula 2) es pot observar una taula comparativa dels resultats entre els paràmetres de moviment especificats en l'apartat 4 i les obtingudes en aquest estudi analític considerant les característiques dels elements de mercat emprats.

Taula 2 . Comparativa dels paràmetres de moviment de les especificacions amb les obtingudes analíticament

| | Valors especificats | Projecte |
|----------------------|--------------------------------|-----------------|
| Resolució | 15 μ rad | 0,67 μ rad |
| Precisió | 0,25 mrad | 0,027 mrad |
| Repetibilitat | 32 μ rad | 3,08 μ rad |

9. Estudi Econòmic

L'estudi econòmic està basat en un cas, el més car de tots, el que correspon als del braç inclinat 45°. Això significa que aquest estudi es pot aplicar en tots els casos excepte el del mirall 4, que té el braç a 180°.

No s'ha tingut en compte el mirall ja que és un element extern del projecte, això significa que no és responsabilitat del departament d'enginyeria. En aquest cas dels clients, els científics del Sincrotró ALBA.

A continuació es pot apreciar (Taula 3) el cost total d'un mecanisme sencer de posicionament d'un mirall de la línia MIRAS del Sincrotró ALBA incloent-hi el cost del enginyer (32 €/hora). Aquest s'ha dividit pel número de conjunts, ja que tots són el mateix amb alguna modificació dels suports dels miralls.

Taula 3. Estudi econòmic d'un conjunt

| Component | Quantitat | €/unit | €total |
|--|-----------|--------|--------|
| Braç | 1 | 595,0 | 595,0 |
| Rodament BK12 | 2 | 120,0 | 240,0 |
| Manxa | 1 | 998,0 | 998,0 |
| Fuset BNK1402-3RRG0+110LC3 | 2 | 700,0 | 1400,0 |
| Acoblador Ruland MBC | 2 | 150,0 | 300,0 |
| Encoder tonic T100030A | 2 | 515,0 | 1030,0 |
| Placa base | 1 | 260,0 | 260,0 |
| Cos fixa | 1 | 335,0 | 335,0 |
| Brida | 1 | 450,0 | 450,0 |
| Fleix | 2 | 49,8 | 99,6 |
| Hardware | 1 | 250,0 | 250,0 |
| Guia circular HCR15A2UUC1+26/300RH-II | 4 | 600,0 | 2400,0 |
| Connector | 1 | 253,6 | 253,6 |
| Interpolador Ti0040A01A | 2 | 300,0 | 600,0 |
| Final de carrera EGM12x1 | 4 | 100,0 | 400,0 |
| Pinça suport mirall | 3 | 60,0 | 180,0 |
| Base suport mirall | 1 | 150,0 | 150,0 |
| Centrador mirall | 3 | 30,0 | 90,0 |
| Motor ZSS32.200.1,2 GPL32 | 2 | 1000,0 | 2000,0 |
| Cos pitch | 1 | 162,0 | 162,0 |
| Element unió | 1 | 22,5 | 22,3 |
| Element unió 2 | 1 | 30,7 | 30,7 |
| Regleta RGSZ20-S | 2 | 45,0 | 90,0 |
| Cos roll | 1 | 190,0 | 190,0 |

| | | | |
|--------------------------------------|-----|-------|----------------|
| Guia Lineal SHS15V1QZSSC1+90L | 2 | 70,0 | 140,0 |
| Suport fuset | 2 | 48,0 | 96,0 |
| Placa actuator | 1 | 85,0 | 85,0 |
| suport motor | 2 | 21,5 | 43,0 |
| suport encoder | 1 | 32,9 | 32,9 |
| suport encoder 2 | 1 | 45,6 | 45,6 |
| Cargolaria | 1 | 792,1 | 792,1 |
| Hores enginyer | 600 | 4,0 | 2400 |
| | | | 16160,8 |

10. Impacte Medi Ambiental

En tractar-se d'un disseny i simulacions realitzats mitjançant eines informàtiques, l'impacte ambiental és molt baix. L'únic consum d'energia ha estat l'energia consumida per l'ordinador durant les hores de disseny i de simulació, així com les de redactat del propi projecte i la recerca d'informació.

A causa de la utilització d'un ordinador com a principal eina de treball durant el disseny i les simulacions, s'ha evitat la fabricació de prototips i maquetes amb el consegüent estalvi econòmic i mediambiental que suposa el no haver hagut de consumir material ni energia per a la realització de aquests elements.

El present projecte s'ha imprès una única vegada per tal de reduir el consum de paper i l'ús de tintes que afecten negativament al medi ambient.

11. Conclusions

En aquest projecte es pot concloure que:

- S'han dissenyat amb precisió i exactitud tots els components no normalitzats del sistema mecànic de posicionament dels miralls de transport de la línia del Sincrotró.
- S'ha creat un mecanisme el més modular possible, ja que tots són iguals, incloent-hi el conjunt a on van acoblat aquests, excepte amb alguna diferència en els suports del miralls perquè les dimensions d'aquests són diferents en alguna ocasió.
- El sistema està justificat analíticament amb els càlculs d'alguns components com el motor o guies circulars, també s'ha fet amb l'anàlisi d'elements finits assegurant la no autoexcitació del sistema a dintre de l'àrea d'experimentació, entre d'altres.
- S'ha garantit i fins i tot millorat amb escriu els valors especificats dels paràmetres de moviment.
- No s'ha superat ni arribat al cost límit establert de 18.000 € disponibles per conjunt del mecanisme de transport de la línia MIRAS del Sincrotró ALBA, ja que el màxim que pot arribar a costar un, és equivalent a 16.160,8 €

12. Agraïments

S'agraeix principalment l'ajuda de Llibert Ribó (enginyer responsable del projecte i tutor en el Sincrotró ALBA) per la seva paciència i els coneixements que m'ha transmès.

Carles Colldelram i Joan Cases, cap de secció transversal i cap de divisió del departament d'enginyeria respectivament, per donar-me la oportunitat d'efectuar unes pràctiques en un complex científic com és el Sincrotró ALBA.

Tota la divisió d'enginyeria de CELLS, tant enginyers com becaris.

Al tutor d'aquest TFG, Enric Martín Fuentes, per la seva implicació i ajuda aportada.

A la gent que ha estat al meu costat durant tot aquest camí, amics, companys d'universitat i familiars.

Gràcies a tu si has llegit el document.

13. Bibliografia

- [1] Catálogo THK, Guías de selección, TOKYO: Edición España
- [2] Catálogo THK, Guías de selección, TOKYO: Edició España
- [3] Catálogo THK, Introducción a los sistemas lineales, TOKYO: Edició España
- [4] Catálogo THK, Introducción a los sistemas lineales, TOKYO: Edició España
- [5] Phytron Catalog, Phytron Stepper Motors, Germany
- [6] Phytron Catalog, Phytron Stepper Motors, Germany
- [7] Phytron Catalog, Phytron Stepper Motors, Germany